



منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)



تقنيات معالجة مياه الصرف الصناعي لمشروعات البتروكيماويات



دولة الكويت - إبريل / نيسان 2019



منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)

تقنيات معالجة مياه الصرف الصناعي لمشروعات البتروكيماويات



مقدمة

تعد المياه أحد أهم عوامل التنمية المستدامة، لذا فإن الحاجة ماسة لترشيد استخدام المتاح من هذه الموارد المائية وبشكل خاص في الدول العربية، والتي تعاني شحاً وندرة في الموارد المائية المتاحة بها، نظراً لأن معظم أراضيها في نطاق المناطق القاحلة وشبه القاحلة التي تتسم بانخفاض الأمطار، لذا فقد تنامت أهمية معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي، والصناعي، واتجهت معظم دول العالم إلى التخطيط، والإدارة السليمة المتكاملة لإعادة استخدام مياه الصرف بعد معالجتها بكفاءة، وتخلصت من الأسلوب القديم الذي كان متبعاً في الماضي بالتخلص منها عن طريق صرفها على المسطحات المائية.

تطورت تقنيات، وأساليب المعالجة بشكل متسارع، وخاصة في السنوات الأخيرة، ويتوقف نجاح عمليات معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصناعي على مجموعة من المعايير والضوابط البيئية التي ترتبط بطبيعة هذه المياه، والهدف النهائي من معالجتها وإعادة استخدامها، والذي يجب أن يجري في إطار يكفل حماية البيئة، والأفراد مع الأخذ في الاعتبار الاعتبارات الاقتصادية، وضرورة متابعة الآثار البيئية لإعادة استخدام هذه المياه على مكونات المنظومة البيئية، وذلك من خلال وضع برامج متكاملة للرصد البيئي للملوثات وآثارها على البيئة المحيطة.

يختلف تصميم محطات المعالجة طبقاً لنوعية، وخصائص مياه الصرف التي ستقوم المحطة بمعالجتها حسب تركيب، وتركيز الملوثات التي تختلف من صناعة إلى أخرى، ومن منشأة إلى أخرى ضمن نفس الصناعة، ومن وقت إلى آخر ضمن المصنع الواحد. لذا فإن كل مصنع عليه اختيار التصميمات، وتقنيات المعالجة طبقاً لمحددات تتغير بتغير المنتج، ومواصفات مياه الصرف وكمياتها، والغرض النهائي من إعادة استخدامها، بالإضافة إلى ضرورة اختيار أنسب طرق إدارتها. ولقد كان هذا الاختلاف تحدياً لمهندسي ومطوري تقنيات معالجة المياه، ليعتمدوا طرقاً وتقنيات نوعية لمعالجة مياه الصرف الصناعي، واعتماد هذه الطرق كجزء من الإدارة البيئية داخل المنشآت الصناعية.

من الممكن أن تتسبب صناعة البتروكيماويات في حدوث تلوث بيئي نتيجة هدر، وتصريف مياه الصرف الصناعي المحملة بالعديد من الملوثات الخطرة الناتجة عن تشغيل الوحدات الإنتاجية

المختلفة، في حال عدم معالجتها وفق القوانين والاشتراطات البيئية المتشددة. لذا فإنه بموجب هذه القوانين والتشريعات البيئية الصارمة يتطلب من كل منشأة صناعية إنشاء وحدات، أو محطات لمعالجة مياه الصرف الصناعي الناتجة منها، وتعتمد كمية وخصائص مياه الصرف الصناعي الناتجة اعتماداً كبيراً على نوع العمليات التي تتم في الوحدات الإنتاجية، ووحدات المرافق كل على حدة. وتعد صناعة البتروكيماويات من أكثر الصناعات قابلية لإعادة استخدام مياه الصرف الصناعي (المياه العادمة) المعالجة مرة أخرى.

تتناول الدراسة تحديد أنواع الملوثات المختلفة في مياه الصرف الصناعي الناتجة عن مختلف الوحدات الإنتاجية في صناعة البتروكيماويات، وطرق، وأساليب، ومستويات، وتقنيات المعالجة التقليدية والحديثة المستخدمة، مع تسليط الضوء على بعض النماذج الناجحة ودراسات حالات اعتمدت في معالجة مياه الصرف الصناعي بها على تطبيق التقنيات الحديثة، وخاصةً تقنيات التدوير الكامل للمياه والذي أصبح شائعاً حديثاً، وذلك بهدف إبراز الفوائد البيئية والاقتصادية الناجمة عن تطبيق تلك الاستراتيجيات الناجحة في صناعة البتروكيماويات، والصناعات البترولية اللاحقة.

تأمل الأمانة العامة من خلال هذه الدراسة تسليط الضوء على أهمية معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصناعي، وأن تساعد المعلومات والبيانات الواردة بها المهتمين في الدول العربية بالحفاظ على الموارد المائية المتاحة، والحفاظ على البيئة، وتعزيز الفوائد الاقتصادية.

والله الموفق ،،،،،

الأمين العام

عباس علي النقي

قائمة المحتويات

رقم الصفحة	الموضوع
3	مقدمة
5	قائمة المحتويات
9	قائمة الأشكال
13	قائمة الجداول
14	ملخص تنفيذي
23	الفصل الأول: جودة المياه واستخداماتها في صناعة البتروكيماويات
25	تمهيد
27	1.1: جودة المياه
30	2.1: جودة المياه وتأثير الشوائب على الاستخدامات في الصناعة
36	3.1: استخدامات المياه في صناعة البتروكيماويات
36	1.3.1. الغلايات (المراجل) لإنتاج البخار
39	1.1.3.1. مياه تغذية الغلايات
42	2.1.3.1. مياه الغلايات
43	3.1.3.1. المتكثفات
44	4.1.3.1. تفوير الغلايات
44	5.1.3.1. البخار
44	2.3.1. التكسير بالبخار
47	3.3.1. مياه التبريد
47	1.3.3.1. أنواع أنظمة التبريد
51	2.3.3.1. أبراج التبريد
54	1.2.3.3.1. تقديرات كميات مياه التبريد في العمليات الصناعية
54	2.2.3.3.1. الاتزان المائي
56	3.2.3.3.1. دورات التركيز
60	4.2.3.3.1. تفوير مياه أبراج التبريد
63	الفصل الثاني: أنواع ملوثات مياه الصرف الصناعي وتقنيات المعالجة
65	تمهيد
65	1.2. التلوث والملوثات
67	2.2. تصنيف المخلفات السائلة
67	1.2.2. المخلفات المتوافقة بيئياً
67	2.2.2. المخلفات غير المتوافقة بيئياً
68	3.2.2. القوانين والتشريعات البيئية
70	3.2. نواتج عمليات التكسير بالبخار
71	4.2. نواتج وحدات إنتاج العطريات

قائمة المحتويات

رقم الصفحة	الموضوع
71	5.2. الطرق التقليدية لمعالجة المياه العادمة وأساليب إعادة استخدام المياه المعالجة
73	6.2. طرق معالجة مياه الصرف الصناعي
74	1.6.2. طرق المعالجة الفيزيائية أو الميكانيكية
74	2.6.2. طرق المعالجة الكيميائية
75	3.6.2. طرق المعالجة البيولوجية
76	7.2. وحدات ومحطات معالجة مياه الصرف الصناعي
77	8.2. مستويات وأنظمة معالجة مياه الصرف الصناعي
78	1.8.2. المعالجة التحضيرية / التمهيدية "Preliminary Treatment"
79	2.8.2. المعالجة الأولية "Primary Treatment"
80	1.2.8.2. التصفية أو الغربلة "Screening"
83	2.2.8.2. تثبيت معدل تدفق وتجانس مياه الصرف الصناعي Flow Equalization
86	3.2.8.2. فصل الزيوت
86	1.3.2.8.2. فاصل الزيوت API
90	2.3.2.8.2. وحدة فصل الزيوت CPI
92	4.2.8.2. الترسيب والترويق Sedimentation/ Clarification
96	1.4.2.8.2. الترسيب بطريقة الترويب والتندف Coagulation and Flocculation
101	5.2.8.2. الطفو "التعويم" Flotation
102	1.5.2.8.2. التعويم بالهواء المذاب/ الغاز المذاب (DAF/DGF)
104	2.5.2.8.2. التعويم بالهواء المستحث "IAF", Induced Air Flotation
	Induced Gas Flotation, "IGF" التعويم بالغاز المستحث
105	1.2.5.2.8.2. التعويم بالغاز/ الهواء المستحث الهيدروليكي
106	2.2.5.2.8.2. التعويم بالغاز/ الهواء المستحث الميكانيكي
107	6.2.8.2. فلترة قشور جوز الهند المفتتة Walnut Shell Filter
110	7.2.8.2. طريقة المعالجة بالتعادل Neutralization
114	9.2. المعالجة الثانوية "Secondary Treatment"
115	1.9.2. المعالجة البيولوجية "Biological Treatment"
119	1.1.9.2. الحماة المنشطة
122	1.1.1.9.2. الهضم الهوائي "Aerobic Digestion"
122	2.1.1.9.2. طريقة الحماة المنشطة التقليدية
124	1.2.1.1.9.2. طريقة الحماة المنشطة متدرجة التهوية
126	2.2.1.1.9.2. طريقة الحماة المنشطة ممتدة (موسعة) التهوية
127	3.2.1.1.9.2. خنادق "قنوات" الأكسدة
129	4.2.1.1.9.2. طريقة الحماة المنشطة متجزئة التهوية
130	5.2.1.1.9.2. نظام التثبيت التلامسي

قائمة المحتويات

رقم الصفحة	الموضوع
131	6.2.1.1.9.2. النترجة وإزالة النترجة
133	7.2.1.1.9.2. طريقة المعالجة بالحماة المنشطة المتتابع
135	1.7.2.1.1.9.2. صعود الحماة
136	2.7.2.1.1.9.2. تضخم الحماة
137	1.2.7.2.1.1.9.2. خصائص المياه الفيزيائية والكيميائية
137	2.2.7.2.1.1.9.2. محددات تصميم محطة المعالجة
137	3.2.7.2.1.1.9.2. أسلوب تشغيل المحطة
138	3.1.1.9.2. نظام المفاعلات الحيوية ذات الأغشية
142	4.1.1.9.2. نظام الحماة المنشطة المتكامل ذو الغشاء الثابت
143	5.1.1.9.2. المفاعل الحيوي ذو السرير المتحرك
149	10.2. المعالجة الثلاثية "Tertiary treatment"
149	1.10.2. الفلتر "الترشيح الحبيبي" "Granular Media Filtration"
151	1.1.10.2. أوساط الترشيح
151	1.1.1.10.2. حجم المواد الصلبة
151	2.1.1.10.2. درجة التنقية
152	3.1.1.10.2. فترة التشغيل
152	4.1.1.10.2. الغسيل والتنشيط
152	5.1.1.10.2. التكلفة
152	1.5.1.1.10.2. الرمال
153	2.5.1.1.10.2. فحم الأنثراسيت "Anthracite"
153	3.5.1.1.10.2. الأوساط المخلوطة "Multilayer/ Mixed Media"
154	2.1.10.2. أنواع المرشحات
155	1.2.1.10.2. مرشحات الرمل البطيئة
156	2.2.1.10.2. مرشحات الرمل السريعة
158	3.2.1.10.2. مرشحات الضغط "Pressure Filters"
159	2.10.2. الامتزاز بالكربون المنشط
162	3.10.2. طرق المعالجة بالأكسدة المتقدمة
162	1.3.10.2. المعالجة الأوزون
164	2.3.10.2. المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية
166	3.3.10.2. طرق معالجة أخرى
167	4.10.2. الأكسدة بالكلور
167	5.10.2. التصريف السائل الصفري
169	1.5.10.2. تقنية التناضح العكسي "الارتشاح" (RO)

قائمة المحتويات

رقم الصفحة	الموضوع
175	2.5.10.2. الانتشار الغشائي الكهربائي " الديليزة الكهربائية"
177	11.2. مخطط معالجة مياه الصرف الصناعي في صناعات التكرير والبتروكيماويات
181	الفصل الثالث دراسات حالة لمشروعات معالجة مياه الصرف الصناعي في صناعة البتروكيماويات
183	تمهيد
183	1.3. إعادة التدوير الكامل للمياه في إحدى شركات إنتاج البولي أوليفينات
184	1.1.3. وحدة معالجة المياه بجمع البتروكيماويات
185	1.1.1.3. وحدة الفلاتر " الترشيح " الدقيقة "Microfiltration"
186	2.1.1.3. وحدة إزالة الأملاح جزئياً
186	3.1.1.3. وحدة إزالة أملاح الكالسيوم والمغنيسيوم من المياه "Softener and HRU units"
187	4.1.1.3. وحدة التناضح العكسي "RO"
187	5.1.1.3. وحدة إزالة الأملاح كلياً
189	2.1.3. وحدة إزالة الحمأة بالمجمع
190	1.2.1.3. المروق
190	2.2.1.3. المغلظ
191	3.2.1.3. الطارد المركزي
192	3.1.3. وحدة التدوير الكامل للمياه بالمجمع
194	4.1.3. مفهوم التدوير الكامل لمياه الصرف الصناعي والفوائد الاقتصادية
196	2.3. دراسة حالة إحدى شركات إنتاج الأسمدة
197	1.2.3. مكونات وحدة التدوير الكامل للمياه
197	1.1.2.3. وحدة تناضح عكسي خاصه بمياه تغذية المصانع المعالجة أولاً
198	2.1.2.3. وحدة التناضح العكسي لمعالجة مياه الصرف الصناعي
200	3.1.2.3. وحدة التناضح العكسي لمعالجة المياه شديده الملوحة
203	الخلاصة والاستنتاجات
207	المراجع
217	Abstract

قائمة الأشكال

رقم الصفحة	الشكل
37	الشكل (1): استخدامات المياه المختلفة في صناعتي التكرير والبتروكيماويات
38	الشكل (2): مخطط مبسط لآلية عمل الغلاية وإنتاج البخار
38	الشكل (3): مسقط افقي لغلاية توليد البخار في مصنع داو للكيماويات بمقاطعة ألبرتا في كندا
45	الشكل (4): مخطط مبسط لعملية الانحلال الحراري للهيدروكربونات بالبخار
46	الشكل (5): مخطط مبسط لمفاعل فرن الانحلال الحراري لإنتاج الأوليفينات باستخدام الغاز كالفيم
49	الشكل (6): أنواع أنظمة التبريد المختلفة
53	الشكل (7): شرح مخطط مبسط لآليات عملية التبريد باستخدام أبراج التبريد
53	الشكل (8): بعض مكونات أبراج التبريد
55	الشكل (9): مخطط مبسط للاتزان المائي في أبراج التبريد
58	الشكل (10): تكون ترسبات وقشور في نظام التبريد
58	الشكل (11): العوامل المؤثرة والمساعدة على تكون القشور والترسبات
61	الشكل (12): مخطط مبسط لميكانيكية عمل مثبطات تكوين القشور والترسبات
77	الشكل (13): الاعتبارات الواجب أخذها في الاعتبار عند تخطيط إنشاء وحدة معالجة الصرف الصناعي
80	الشكل (14): نموذج لمصافي عمودية
81	الشكل (15): أنواع المصافي الخشنة المستخدمة في صناعة إنتاج الكيماويات والبوليمرات
82	الشكل (16): المصافي الناعمة من نوع إسفين سلك الشاشة الأسطواني
83	الشكل (17): المصافي الناعمة بطريقة الطرد المركزي
84	الشكل (18): خزان التجانس والمعادلة في محطات معالجة مياه الصرف الصناعي
85	الشكل (19): رسم توضيحي لوضع عمود القلاب في خزان التجانس والمعادلة
87	الشكل (20): مخطط تدفق فاصل الزيوت API
88	الشكل (21): فاصل الزيوت API من النوع المستطيل
88	الشكل (22): فاصل الزيوت API من النوع الدائري
89	الشكل (23): أغشية لفواصل الزيوت API، لمنع انبعاث المواد العضوية المتطايرة
90	الشكل (24): مخطط شكل وحدة فصل الزيوت "الشرائح الاعتراضية المموجة Corrugated Plate Interceptor (CPI)
91	الشكل (25): مخطط آليات عمل وحدة فصل الزيوت CPI
92	الشكل (26): وحدة فصل الزيوت CPI في مشروع "فاتنما" لإنتاج أسمدة اليوريا في دولة باكستان
93	الشكل (27): أحواض الترسيب (المروقات) المستطيلة
94	الشكل (28): أحواض الترسيب (المروقات) الدائرية
95	الشكل (29): مخطط حوض ترسيب (مروق) مستطيل، مزود بكاشط
96	الشكل (30): مخطط حوض ترسيب (مروق) دائري، مزود بكاشط دائري
97	الشكل (31): صورة مجهرية للندف البكتيرية في حوض التهوية

قائمة الأشكال

رقم الصفحة	الشكل
100	الشكل (32): مخطط مبسط لعملية الترويب والتنديف
102	الشكل (33): تكون فقاعات الهواء والتحامها مع جزيئات الملوثات
103	الشكل (34): ميكانيكية التصاق فقاعات الهواء بالمواد العالقة وطفوها إلى السطح
103	الشكل (35): مخطط عمل وحدة الطفو بالهواء المذاب "DAF"
104	الشكل (36): نموذج لوحات الطفو بالهواء في مصنع إنتاج بتروكيماويات في سنغافورة بطاقة 1200 م ³ /ساعة
105	الشكل (37): آلية تقنية التعويم المستحث بالهواء (IAF): الاصطدام، الالتصاق وتشكيل فقاعة على سطح الجسيمات.
106	الشكل (38): آلية عمل طريقة التعويم بالغاز المستحث الهيدروليكية
106	الشكل (39): آلية عمل طريقة التعويم بالغاز المستحث الميكانيكي
107	الشكل (40): وحدة التعويم بالهواء/ الغاز المستحث بأحد وحدات المعالجة
109	الشكل (41): مخطط المكونات الرئيسية لنظام الترشيح باستخدام قشور جوز الهند المفتتة
110	الشكل (42): مخطط المكونات الرئيسية لنظام الترشيح باستخدام قشور جوز الهند الطبيعية المفتتة
111	الشكل (43): مخطط عملية التعادل لمياه الصرف الصناعي
113	الشكل (44): المكونات الرئيسية لوحدة المعالجة بطريقة التعادل
114	الشكل (45): وحدة معالجة مياه الصرف الصناعي بطريقة التعادل
115	الشكل (46): المجموعات الرئيسية للمعالجة البيولوجية
116	الشكل (47): مخطط طرق المعالجة البيولوجية الهوائية واللاهوائية
119	الشكل (48): بعض أشكال من مكونات الحماية المنشطة من الكائنات الدقيقة
121	الشكل (49): ترسبات مكونة من تكتلات شوائب بالمعالجة البيولوجية
123	الشكل (50): المكونات الأساسية لنظام المعالجة بالحماة المنشطة
125	الشكل (51): ناشرات الهواء في نظام التهوية المتدرجة
127	الشكل (52): وحدة معالجة بيولوجية بنظام التهوية الممتدة في أحد المصانع
128	الشكل (53): مخطط توضيحي لعملية المعالجة بطريقة قنوات الأكسدة
128	الشكل (54): صورة وحدة المعالجة البيولوجية بطريقة قنوات الأكسدة
129	الشكل (55): مخطط توضيحي لعملية المعالجة بطريقة التهوية متجزئة التهوية
130	الشكل (56): مخطط توضيحي لعملية المعالجة البيولوجية بطريقة التثبيت التلامسي
134	الشكل (57): مخطط عملية المعالجة بنظام الحماية المنشطة في المفاعل الدفعي المتتابع
135	الشكل (58): وحدة معالجة مياه الصرف بنظام المفاعل الدفعي المتتابع
136	الشكل (59): مشكلة صعود الحماة
137	الشكل (60): مشكلة تضخم الحماة
140	الشكل (61): نماذج تقنية الفصل الغشائي (الجانبية، والمغمورة)
141	الشكل (62): محطة معالجة مياه مزودة بأغشية مغمورة "MBR-System"
143	الشكل (63): وحدة معالجة المياه العادمة بنظام الحماية المنشطة المتكامل ذو الغشاء الثابت
145	الشكل (64): معالجة المياه العادمة بنظام المفاعل الحيوي ذو السربير المتحرك

قائمة الأشكال

رقم الصفحة	الشكل
146	الشكل (65): الكتل البلاستيكية لنمو بكتريا المعالجة عليها
147	الشكل (66): آلية مسار حركة الكتل البلاستيكية في المفاعل الحيوي ذو السرير المتحرك
147	الشكل (67): وحدة معالجة بنظام المفاعل الحيوي ذو السرير المتحرك
151	الشكل (68): الفرق بين عمليتي الامتزاز " فيزيائية"، و عملية الحجز " ميكانيكية"
153	الشكل (69): مجموعة المناخل المستخدمة في تحديد أقطار الرمال المطلوبة بتقنية التحليل بالمناخل
154	الشكل (70): شكل خليط أوساط الترشيح في المرشحات
156	الشكل (71): مخطط مرشح رملي بطيء
157	الشكل (72): مخطط مرشح رملي سريع
159	الشكل (73): قطاع في مرشح يعمل تحت ضغط
160	الشكل (74): عملية الامتزاز على الكربون المنشط
162	الشكل (75): معالجة المياه العادمة باستخدام الكربون المنشط
163	الشكل (76): أكسدة الفينول بالأوزون
164	الشكل (77): صورة لمولدات الأوزون
164	الشكل (78): حقن الأوزون داخل الوسط المائي بواسطة الثقوب الدقيقة
165	الشكل (79): مصباح إنتاج الأشعة فوق البنفسجية
166	الشكل (80): وحدة المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية بأحد محطات المعالجة
170	الشكل (81): تقنية التناضح العكسي
172	الشكل (82): الأغشية ذات الخيوط المفرغة لمستخدمة في عمليات التناضح العكسي
173	الشكل (83): الأغشية اللولبية المستخدمة في عمليات التناضح العكسي
174	الشكل (84): جانب من إحدى وحدات التناضح العكسي
175	الشكل (85): خلية الديزل الكهربية
176	الشكل (86): الوحدة الصناعية للفرز الكهربائي
177	الشكل (87): جانب من وحدة صناعية لمعالجة المياه بتقنية الفرز الكهربائي
178	الشكل (88): مخطط خطوط وحدات/ محطات المعالجة التقليدية لمياه الصرف الصناعي في صناعات التكرير والبتروكيماويات
179	الشكل (89): مخطط معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصناعي في صناعات التكرير والبتروكيماويات
180	الشكل (90): مخطط وحدات معالجة مياه الصرف الصناعي في أحد مصانع البتروكيماويات
185	الشكل (91): مخطط مكونات وحدة معالجة المياه
185	الشكل (92): وحدة الفلاتر " الترشيح" الدقيقة "Microfiltration"
187	الشكل (93): وحدة إزالة أملاح الكالسيوم والمغنيسيوم من المياه "Softener and HRUU nits"
188	الشكل (94): أبراج إزالة الغازات
188	الشكل (95): خطوط المياه منزوعة الأملاح جزئياً
189	الشكل (96): وحدة إزالة الأملاح كلياً
189	الشكل (97): مخطط مكونات وحدة إزالة الحمأة
190	الشكل (98): المروق المستخدم في وحدة إزالة الحمأة

قائمة الأشكال

رقم الصفحة	الشكل
191	الشكل (99): المغلظ الملحق بوحدة إزالة الحمأة
191	الشكل (100): الطارد المركزي الملحق في وحدة إزالة الحمأة
192	الشكل (101): المبخر الرئيسي بوحدة التبخير
193	الشكل (102): تجفيف الأملاح، وتركيزها على هيئة بلورات
195	الشكل (103): منظومة إعادة التدوير الكامل للمياه بالمجمع
199	الشكل (104): مخطط لوحة التحكم الإلكتروني في وحدة إعادة التدوير الكامل "مرحلة أولى"
201	الشكل (105): مخطط مكونات مشروع إعادة التدوير الكامل للمياه في مرحلتيه الأولى والثانية

قائمة الجداول

رقم الصفحة	الجدول
29	الجدول (1): التحاليل الكيميائية اللازمة لإحكام الرقابة على جودة المياه المستخدمة في صناعة البتروكيماويات
30	الجدول (2): مدلولات وجود الملوثات، والشوائب وتأثيرها على خواص المياه الصناعية وجودتها
32	الجدول (3): أهم المعادن واللافلزات وتأثير وجودها على جودة مياه الصناعة
40	الجدول (4): المواصفات القياسية لمياه الغلايات
41	الجدول (5): تحاليل دورية لإحكام الرقابة على جودة مياه تغذية الغلايات
43	الجدول (6): الاختبارات الروتينية اللازمة لإحكام ومراقبة جودة المنكثفات
45	الجدول (7): تقديرات كميات البخار اللازمة لعمليات التكسير بالبخار تبعا لنوع اللقيم المستخدم
50	الجدول (8): مقارنة بين الأنواع المختلفة لأنظمة التبريد
52	الجدول (9): الكيماويات المستخدمة لضبط خواص المياه في أبراج التبريد
54	الجدول (10): تقديرات استخدام مياه التبريد لإنتاج الأمونيا والإيثيلين والهيدروجين
56	الجدول (11): معدل كميات بخر مياه أبراج التبريد لكل 10 ° ف
57	الجدول (12): العلاقة بين عدد دورات التركيز ومنب الوفر في مياه التبريد
60	الجدول (13): الخواص القياسية لجودة مياه التبريد
66	الجدول (14): أهم الملوثات في مياه الصرف الصناعي
69	الجدول (15): التركيز الأقصى لقائمة المواد السامة، والخطرة الناتجة من مياه الصرف الصناعي، المحظور صرفها على نظام الصرف الصحي لولاية كاليفورنيا
71	الجدول (16): ملخص أهم أنواع الملوثات الناتجة عن وحدات التكسير بالبخار ووحدات إنتاج العطريات
74	الجدول (17): مقارنة بين أنواع الترشيع المختلفة
78	الجدول (18): طرق معالجة مياه الصرف الصناعي في صناعة البتروكيماويات
108	الجدول (19): مقارنة بين قشور جوز الهند المقتتة، ورمال السيليكا المستخدمة كوسائط في عمليات الترشيع
118	الجدول (20): مقارنة بين عمليات المعالجة الهوائية واللاهوائية
154	الجدول (21): منظومة أوساط مخلوطة مستخدمة في فلاتر الترشيع
194	الجدول (22): خصائص مياه الصرف الصناعي قبل عمليات المعالجة وخصائص المياه بعد المعالجة بنظام التدوير الكامل للمياه
202	الجدول (23): تكاليف التشغيل لوحدة المرافق بالمصنع قبل وبعد تطبيق نظام تدوير المياه الكامل في مرحلتيه الأولى والثانية.

ملخص تنفيذي

اتجهت معظم دول العالم إلى التخطيط، والإدارة السليمة المتكاملة لإعادة استخدام مياه الصرف الصناعي بعد معالجتها بكفاءة وبدرجة كافية تحول دون الضرر من إعادة استعمالها، وتخلصت من الأسلوب القديم الذي كان يتبع في الماضي بالتخلص منها بالصرف على المسطحات المائية.

يتوقف نجاح معالجة وإعادة استخدام المياه على مجموعة من المعايير والضوابط البيئية التي ترتبط بطبيعة هذه المياه والهدف النهائي من معالجتها وإعادة استخدامها، والذي يجب أن يجرى في إطار يكفل حماية البيئة، وذلك من خلال وضع برامج متكاملة للرصد البيئي للملوثات وأثارها على البيئة المحيطة.

أستهلّت الدراسة في **الفصل الأول** بتعريف مفهوم جودة المياه، حيث تتطلب كل صناعة جودة " نوعية محددة " من المياه تختلف من صناعة لأخرى، فمن الممكن تكون جودة المياه مناسبة لصناعة ما، ولكنها تكون غير مناسبة أو خطيرة لصناعة أخرى. فعلى سبيل المثال، قد تتطلب الصناعات الغذائية مياه تحتوي على تركيزات من كبريتات الكالسيوم، في حين أن المياه المخصصة للغلايات (المراجل) يجب ألا تحتوي على أي أثر منها. لذا فمن الضروري معرفة متطلبات الجودة للمياه الصناعية من حيث نوعية، وكمية الشوائب الموجودة بها، وأثارها على الاستخدام الصناعي، حيث تختلف الحدود المسموح بها من هذه الشوائب حسب الاستخدامات، فضلاً عن أن جودة المياه تتأثر بخواصها، ونسب وكميات الشوائب المتواجدة بها.

تناولت الدراسة استخدامات المياه في صناعة البتروكيماويات، حيث تستهلك مجمعات البتروكيماويات كميات ضخمة من المياه، ومعظم هذه المجمعات لديه موارد المائية الخاصة، سواء من مصادر المياه السطحية، أو الجوفية، أو من كليهما، ويستخدم البعض الآخر مياه الشرب البلدية "City Water"، جزئياً أو كلياً. لذا فإن مصانع البتروكيماويات تنشئ وحدات خاصة بها من المرافق لتأمين احتياجاتها من الطاقة والبخار، أو تأمينها من مصادر خارجية،

وتقوم عادة بتوليد ما تحتاجه من البخار بضغوط معتدلة، حيث تستخدم مصانع البتروكيماويات كميات ضخمة من البخار في وحداتها الإنتاجية المختلفة، مثل وحدات تكسير الإيثيلين، والنافثا بالبخار "Steam Cracking" لإنتاج الإيثيلين، أو لإنتاج الهيدروجين بطريقة الإصلاح بالبخار "Steam Reforming". هذا وتقوم عدد من مجمعات البتروكيماويات بمعالجة وتنقية، وإعادة استخدام جزء أو كل من مياه الصرف في مصانعها.

استعرضت الدراسة أيضاً تصنيف المياه في صناعة البتروكيماويات طبقاً لاستخداماتها النهائية، كمياه تغذية، أو تبريد، أو تعويض "Make Up"، أو مياه فائقة النقاوة لتغذية المراحل وإنتاج البخار المستخدم في عمليات التسخين، والتبخير، والتجفيف، بالإضافة إلى استخدام المياه للإطفاء، والخدمات، والشرب، وغيرها من الاستخدامات الأخرى.

تطرقت الدراسة أيضاً لبعض المفاهيم الهامة فيما يتعلق باستخدامات المياه في عمليات التبريد، مع شرح مبسط لأنواع أنظمة التبريد المختلفة، ودور أبراج التبريد في عمليات التبريد. كما أوضحت الدراسة أن تقديرات كميات مياه التبريد في العمليات الصناعية " افتراضيات استخدام نظام التبريد الرطب "باستخدام المياه"، يعتمد على عدد من المحددات وأهمها، كميات مياه التبريد لعملية الإنتاج، وعدد مرات إعادة تدوير مياه التبريد والتي تتراوح ما بين 3 إلى 7 دورات، كميات البخار، والطاقة الإنتاجية السنوية للمنتج النهائي.

كما بينت أيضاً أن مفهوم الاتزان " التوازن " المائي "Water Balance" لبرج التبريد يشمل جميع مدخلات، ومخرجات المياه المرتبطة بتشغيل النظام. هذا وتشمل مخرجات المياه "outlet"، التحكم في عوامل فقد المياه مثل البخار، والهدر "التقوير"، والانجراف "تطاير"، وخروج قطرات المياه، وتسرب المضخات، أو أية مصادر ومسببات لفقد المياه غير خاضعة للتحكم، مثل طفق المياه "Overflow". يتم تعويض كافة أسباب نقص أو فقد المياه عن طريق إمدادات مياه التغذية "التعويض".

تم تعريف مفهوم دورات التركيز "COC - Cycles of Concentration"، أو ما يعرف أيضاً بمعدل التركيز "Concentration Ratio"، بأنها هي العلاقة بين تركيز المواد الصلبة الذائبة (كلوريدات، وكبريتات) في مياه التفوير إلى نسبتها في مياه التعويض "التغذية"، وهي طريقة لتحديد عدد دورات مياه التبريد المثالية، حيث تتفاوت معدلات دورات تركيز المياه طبقاً لنظام التبريد المركب، وتحدد بعدد مرات مرور مياه التبريد خلال المبادلات الحرارية.

كما أوضحت الدراسة أن **مقدار المياه المهدرة (تفوير المياه) "Blowdown"** من برج التبريد يعتمد على مقدار قساوة (عسر) مياه التبريد داخل الأبراج. للحفاظ على كفاءة مياه التبريد خلال عدد محدد من دورات التركيز، يجب أن يتم تفوير (هدر) كميات محددة من المياه بمعدل منتظم، فإذا كان عدد دورات التركيز ثلاثة، فإن ثلث مياه التبريد يتم سحبها (هدرها). بينما يتم هدر ربع كمية المياه في حالة أن عدد دورات التركيز "أربعة".

تناولت الدراسة في **الفصل الثاني** التعريف بأنواع الملوثات المختلفة الناتجة عن صناعة البتروكيماويات وتقنيات المعالجة المناسبة طبقاً لنوع تلك الملوثات. حيث تعد صناعة البتروكيماويات صناعة معقدة، ومتكاملة وتشمل العديد من العمليات الصناعية، والمنتجات، ويستخدم فيها أنواع مختلفة من المواد الأولية (اللقائم)، والعوامل الحفازة، والإضافات، والكيماويات، وتتم هذه العمليات في بيئة شديدة الخطورة قابلة للانفجار.

من الممكن تتسبب صناعة البتروكيماويات في حدوث تلوث بيئي نتيجة هدر، وتصريف مياه الصرف الصناعي المحملة بالعديد من الملوثات الخطرة الناتجة عن تشغيل الوحدات الإنتاجية المختلفة، في حال عدم معالجتها وفق القوانين البيئية المنظمة. لذا فإنه بموجب القوانين والتشريعات البيئية الصارمة يتطلب من كل منشأة صناعية إنشاء وحدات، أو محطات لمعالجة مياه الصرف الصناعي بها، وعلى كل مصنع اختيار تصميمات، وتقنيات المعالجة طبقاً لمحددات تتغير بتغير المنتج، ومواصفات مياه الهدر وكمياتها، والغرض من إعادة استخدامها، بالإضافة إلى ضرورة اختيار أنسب طرق إدارتها.

انتقلت الدراسة في هذا الفصل أيضاً إلى استعراض الطرق التقليدية لمعالجة مياه الصرف وأساليب إعادة استخدام المياه المعالجة، وشملت استعراض طرق المعالجة الفيزيائية أو الميكانيكية، وطرق المعالجة الكيميائية، وطرق المعالجة البيولوجية. كما تم التطرق إلى التعريف بوحدات ومحطات معالجة مياه الصرف الصناعي، ومستويات وأنظمة المعالجة بها، حيث تتعدد طرق ومستويات معالجة مياه الصرف الصناعي حسب المعالجة المطلوبة، وحسب مواصفات مياه الصرف الداخلة للمحطة، والنتيجة منها، وحسب كمية المياه العادمة المراد معالجتها، ولكن بشكل عام فإن مستويات معالجة مياه الصرف الصناعي قد تكون تمهيدية أو تحضيرية "Preliminary treatment"، أو ابتدائية "Primary"، أو ثنائية "Secondary"، أو ثلاثية / متقدمة "Tertiary/advanced".

تعتمد المعالجة التمهيدية على ترسيب المواد الصلبة في أحواض الترسيب الأولية، وعادة ما تكون هذه الأحواض عريضة بشكل يسمح للمواد الصلبة الخفيفة، والدهون والزيوت بأن تطفو على سطح الماء، بحيث يسهل كشطها وإزالتها. ويتم ذلك بواسطة الحجز بالمصافي، وفصل المواد الزيتية، والشحوم، والمواد العالقة القابلة للترسيب. شملت طرق المعالجة الابتدائية كل من التصفية أو الغربلة "Screening"، وطرق تثبيت معدل تدفق وتجانس مياه الصرف الصناعي "Flow Equalization"، وطرق فصل الزيوت المختلفة، وشملت فاصل الزيوت API، ووحدة فصل الزيوت CPI، وطرق الترسيب والترويق "Sedimentation/Clarification"، بالإضافة إلى شرح مبسط لطرق الترسيب المختلفة، شملت الترسيب بطريقة الترويب والتندف "Coagulation and Flocculation"، والتعريف بطرق الطفو "التعويم" "Flotation"، المختلفة وشملت، طريقة التعويم بالهواء المذاب/الغاز المذاب (DAF/DGF)، وطريقة التعويم بالهواء المستحث "IAF", Induced Air Flotation، و التعويم بالغاز المستحث "IGF", Induced Gas Flotation، وطرق التعويم بالغاز/الهواء المستحث الهيدروليكي، وطرق التعويم بالغاز/الهواء المستحث الميكانيكي. بالإضافة إلى التعريف

بطرق المعالجة والمسمدة لفترة قشور جوز الهند المفتتة "Walnut Shell Filter"، والمعالجة بالتعادل "Neutralization".

تناول هذا الفصل أيضاً شرح مبسط للمعالجة الثانوية "Secondary Treatment"، أو ما يطلق عليها المعالجة البيولوجية، وتأتي بعد انتهاء مراحل المعالجة الأولية، والابتدائية، وتعد جزء هاماً ومتكاملاً في محطات معالجة مياه الصرف الصناعي. حيث يمكن إزالة أكثر من 90 % من المواد العضوية الموجودة في المياه العادمة من خلال عمليات المعالجة البيولوجية. كما يتم إزالة المواد العضوية الذائبة، التي تتفككت من مرحلة المعالجة الأولية. أوضحت الدراسة أيضاً أن المعالجة البيولوجية "Biological Treatment"، هي عملية تقوم بها مجموعات من الأجسام، والكائنات الحية الدقيقة التي تستهلك المواد العضوية كغذاء لها، وتحولها إلى النواتج النهائية لعمليات الأيض "ثاني أكسيد الكربون، والماء، والطاقة الضرورية لنمو الجراثيم وتكاثرها".

تنقسم عمليات المعالجة البيولوجية إلى أربع مجموعات رئيسية، هي: العمليات الهوائية، وعمليات النترية اللاأكسجينية "Nitrification Anoxic" - عمليات أكسدة الأمونيا في وجود نقص الأكسجين-، والعمليات اللاهوائية، والعمليات الهوائية والنترية اللاأكسجينية.

تم تسليط الأضواء على طرق المعالجة البيولوجية التقليدية والمعروفة بطرق الحمأة المنشطة، والتي تعتبر من أكثر الطرق استخداماً في الوقت الحاضر بسبب كفاءتها المرتفعة في المعالجة، وسميت بهذا الاسم لأنه يتم إعادة جزء من الحمأة المترسبة في أحواض الترسيب الثانوية إلى حوض التهوية وذلك بشكل مستمر، وهذا يساعد في تسريع العملية البيولوجية وزيادة كفاءتها بسبب زيادة كثافة الكتلة الحيوية في حوض التهوية وبالتالي زيادة معدل الأكسدة، وتفكيك المواد العضوية إلى مكوناتها الأساسية. تدخل المياه المعالجة إلى أحواض التهوية بعد مرورها على أحواض الترسيب الأولية.

هذا وقد ظهرت الحاجة إلى طرق بيولوجية أكثر تقدماً لتحسين مواصفات وجودة التدفقات السائلة الخارجة من حيث محتواها من الاحتياج الحيوي للأكسجين BOD،

والنتروجين، والفسفور، ذلك بهدف تلبية الاشتراطات البيئية الصارمة والمتزايدة للسماح بصرف المياه المعالجة على المصارف العمومية، أو إعادة استخدامها في الاستخدامات الصناعية، والاستخدامات الأخرى.

ولضمان الوفاء بتحقيق المعايير البيئية الصارمة المطلوبة، فإن بعض التعديلات المختلفة تم إضافتها إلى التصميم الأساسي لمحطات المعالجة التي تعمل بطريقة الحمأة المنشطة التقليدية، وشملت بعض تعديلات في تصميمات وحدات المعالجة المساعدة، وأحواض الترسيب، وغيرها من المرافق. تطورت هذه الطرق لتشمل طريقة الحمأة المنشطة متدرجة التهوية "Tapered Aeration"، وطريقة الحمأة المنشطة ممتدة (موسعة - مطولة) التهوية "Aeration Extended"، وطريقة قنوات (خنادق) الأكسدة "Oxidation Ditches"، وطرق التثبيت التلامسي، لتشمل طرق أكثر تطوراً وتعديلاً في تصميمات المفاعلات الحيوية مثل طريقة المفاعلات ذات الدفقات المتتابع "Sequencing Batch Reactors, (SBR)"، ونظام المعالجة بطريقة السرير المتحرك "Moving-Beds"، ومفاعلات الأغشية الحيوية "Membrane Bioreactors".

تناولت الدراسة أيضاً تعريف مفهوم **المعالجة الثلاثية** "Tertiary treatment"، وشملت عدد من طرق الفصل الفيزيائية، والكيميائية. تستخدم المعالجة الثلاثية بعد عمليات المعالجة البيولوجية في المرحلة الثانوية، بهدف تلبية متطلبات عمليات المعالجة المتكاملة للوصول إلى مستويات وجودة المياه المطلوبة من حيث المتطلبات البيئية لإعادة استخدامها.

يتم في هذه المرحلة إزالة الملوثات من المياه العادمة والتي لم يتم إزالتها أو التخلص منها بشكل تام في مرحلة المعالجة الثانوية، للوصول إلى الحدود المقبولة من محتوى المواد الصلبة الكلية، ومحتوى الطلب على الأكسجين البيوكيميائي "BOD، TSS"، وإزالة المغذيات "النيتروجين، والفسفور"، وإزالة المركبات العضوية المتطايرة، والمعادن.

تشمل عمليات المعالجة الثلاثية تقنيات الفصل الفيزيائي الكيميائي مثل، امتصاص الكربون المنشط "Activated Carbon Adsorption"، التلبد / الترسيب

"Flocculation/Precipitation"، ترشيح الأغشية "Membranes Filtration"، التبادل الأيوني، إزالة الكلورة "de-chlorination"، والتناضح العكسي "Reverse Osmosis".

تطرق هذا الفصل أيضاً إلى تسليط الأضواء على المفهوم الحديث لنظام التصريف السائل الصفري "ZLD"، أو ما يعرف أيضاً بنظام التدوير الكامل لمياه الصرف الصناعي، وخاصةً مع تزايد المعايير البيئية التي تنفذها الشركات، والتي تنص على منع تصريف ملوثات الأملاح، الملوثات السامة، النترات، والنترت،... الخ، وقد أصبحت هذه التقنية الآن أكثر انتشاراً في جميع أنحاء العالم. كما يمكن أن تساعد الشركات على التعامل مع العديد من التحديات مثل ارتفاع تكاليف الحصول على المياه اللازمة، وندرتها في كثير من الأحوال، وتزايد الاهتمام بتقنيات التصريف الصفري للسائل نظراً إلى زيادة الوعي البيئي، والمسؤولية المجتمعية نحو القضايا البيئية. وقد تبدو التكلفة الاستثمارية والتشغيلية لتقنيات التصريف الصفري للسائل مرتفعة نسبياً نظراً للاستهلاكات الضخمة من الطاقة (حيث تستهلك حوالي 10-20 كيلوواط ساعة/م³، مقابل 2-3 كيلوواط ساعة/م³ في تقنيات تحلية المياه)، إلا أنها قد تكون حلاً اقتصادياً مقبولاً، وخاصة عندما يكون البديل نقل المياه العادمة لمسافات طويلة لإجراء عمليات معالجتها في وحدات أو محطات خارجية.

بينما يعيب تقنيات التصريف الصفري أنه لا يوجد تصميم قياسي ثابت للتقنيات المستخدمة في عمليات المعالجة لكل الصناعات، بحيث تكون ثابتة لكل أنواع المياه العادمة، فتختلف التصميمات من صناعة لأخرى طبقاً لمواصفات المياه العادمة وخصائصها. هذا وتعد تقنية التصريف الصفري للسائل مناسبة لطيف واسع من الصناعات، وتشمل مشروعات إنتاج الطاقة، وصناعة التكرير، والبتروكيماويات، والأسمدة، والتعدين، وإنتاج الأغذية، حيث تتوفر مجموعة متنوعة من المعدات والتقنيات المناسبة لمعالجة مختلف أنواع المياه العادمة.

تناولت الدراسة في **الفصل الثالث** دراسات حالة لتطبيق مفهوم معالجة مياه الصرف الصناعي في صناعة البتروكيماويات، وشملت نموذجان، أحدهما لأحد شركات إنتاج الأوليفينات والبولي أوليفينات في جمهورية مصر العربية، والتي اعتمدت في تصميمات

مشروع معالجة مياه الصرف الصناعي على استغلال الفائض المتاح من الشركات الشقيقة "وهي الشركات المجاورة لها جغرافياً والتي تعمل في مجال الصناعات البترولية"، لتحقيق سياسة التكامل بين الشركات ولتعظيم الاستفادة من الإمكانيات المتاحة لديها، وبالتالي خفض التكلفة الاستثمارية اللازمة لإنشاء مشروع جديد لمأخذ مياه، ومحطة رفع، ووحدات معالجة أولية من مروبات، ومرشحات رملية. بينما شمل النموذج الثاني أحد شركات إنتاج اسمدة اليوريا.

وفي هذا الصدد لجأت شركة إنتاج الأوليفينات والبولي أوليفينات إلى تعظيم دور التكنولوجيا الحديثة للوصول إلى أعلى إنتاجية بأقل كمية من المخلفات السائلة وذلك للوصول إلى أقل سعة ممكنة لمعدات التبخير، وليس عن طريق إضافة معدات للتخلص من المخلفات، حيث أنها طريقة بدائية ومكلفة جداً، بل أن الشركة اعتمدت على استراتيجية أو مفهوم التدوير الكامل للمياه. تعتمد فكرة إنشاء الوحدة على إعادة تدوير مياه الصرف الصناعي تدويراً كاملاً، وعدم إنتاج أي مخلفات سائلة خارج المجمع، حيث يتم نزع الأملاح من المياه عن طريق التبخير، ثم تليها عملية تكثيف البخار الناتج، والذي يتحول إلى مياه منزوعة الأملاح كلياً، يتم استخدامها في أبراج التبريد، أما الأملاح الناتجة فيتم تركيزها "Brine Concentration"، وبلورتها "Crystallization" للوصول بها إلى الحالة الصلبة، والتي يمكن استخدامها كمواد خام لبعض الصناعات الأخرى.

بين هذا النموذج "دراسة الحالة الأولى" الفوائد الاقتصادية لمفهوم التدوير الكامل للمياه، حيث قدرت تكلفة وحدات التدوير الكامل للمياه، والتي شملت وحدات المعالجة بالأغشية، والتبادل الأيوني، وأجهزة التبخير، بنحو 24.5 مليون دولار أمريكي، بينما انخفضت كمية المياه اللازمة لتغذية مجمع المرافق والتسهيلات لتصل إلى نحو 793 م³/ساعة بدلاً من 2660 م³/ساعة، وهو ما أدى إلى توفير حوالي 6.3 مليون م³/سنة من المياه، بلغت تكلفتها نحو 2.8 مليون دولار سنوياً. وعلى هذا فإن الزيادة في قيمة المعدات والتي بلغت نحو 12.61 مليون

دولار، يمكن استردادها خلال فترة لا تزيد عن 22 شهر نتيجة الوفر في تكلفة استهلاكات المياه.

بينما أكدت دراسة الحالة للنموذج الثاني، والذي يمثل أحد شركات إنتاج الأسمدة النيتروجينية أن قيمة الخفض في التكلفة السنوية لمعالجة المياه بلغ نحو 40 % وذلك بعد تطبيق المرحلة الأولى من مشروع المعالجة بنظام التدوير الكامل للمياه، ومن المتوقع زيادة الخفض في تلك التكلفة لتصل إلى نحو 86% مع تطبيق المرحلة الثانية من المشروع. واختتمت الدراسة بالخلاصة والاستنتاجات.



الفصل الأول

**جودة المياه واستخداماتها
في صناعة البتروكيماويات**

الفصل الأول

جودة المياه واستخداماتها في صناعة البتروكيماويات

تمهيد

تقدر كميات المياه العذبة في الطبيعة بنحو 35 مليون كم³، وفق تقديرات برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP)، أي ما يمثل حوالي 2.5 % من الحجم الكلي للأرض والذي يبلغ نحو 1.4 مليار كم³، علاوة على ذلك فإن نحو 24 مليون كم³ أي ما يعادل 70 % من هذه المياه العذبة والموارد تتواجد في شكل جليد، ومناطق ثلجية في القطب الجنوبي، والقطب الشمالي.

لا يتم تخزين سوى 30 % من المياه العذبة في العالم كمياه جوفية، ومستنقعات، وبحيرات، وأنهار، ومع ذلك، فإن أقل من 1 % من جميع هذه الموارد، أي حوالي 240.000 كم³، هو إجمالي إمدادات المياه الصالحة للاستخدام البشري والنظام الإيكولوجي⁽⁹⁾. يستخدم حوالي 70 % من المياه العذبة في الأغراض الزراعية، وحوالي 22 % في الأغراض الصناعية، ونحو 8 % في الاستخدامات المنزلية⁽¹⁹⁾.

تعتبر المياه من السوائل المفضلة في الصناعة عن السوائل الأخرى، نظراً لتوفرها في الطبيعة، يضاف إلى ذلك خواصها الطبيعية المتفردة مثل الشفافية، والكثافة، ودرجات التجمد والغليان، والحرارة النوعية، بجانب خواص الذوبانية التي يتمتع بها الماء، وغيرها من الخواص الهامة. وتعد المياه السطحية (الأنهار، والبحار)، والمياه الجوفية (الأبار) من المصادر الهامة لتوفير المياه لكافة الاستخدامات الصناعية.

تعد كمية ونوعية "جودة" المياه المتوفرة، من أحد أهم المحددات الرئيسية في اختيار وتحديد المواقع المناسبة لإنشاء المجمعات الصناعية، وخاصة صناعة البتروكيماويات، نظراً لضخامة كميات المياه المستخدمة في هذه الصناعة.

تعتمد صناعة البتروكيماويات على استخدام المياه بكميات كبيرة في العمليات الصناعية، خاصة في إنتاج الأوليفينات، والعطريات، كما تعد مصدراً هاماً لإنتاج الهيدروجين وهو من أهم مدخلات صناعة البتروكيماويات، كما تستخدم المياه في عمليات التبريد، والتحكم في درجات الحرارة لعمليات البلمرة والمنومرة "monomerization"، وفي تبريد المعدات كالضواغط، والظلمبات، وغيرها من الاستخدامات.

أصبح مفهوم معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي، والصناعي أكثر انتشاراً في الوقت الراهن، وقد ساهمت تقنيات معالجة مياه الصرف وإعادة استخدامها في الحفاظ على موارد المياه العذبة، خاصة في ظل ندرة المياه ونقص الإمدادات في كثير من المناطق، وعملت على خفض تكلفة إنتاج المياه، وتلبية المعايير البيئية الصارمة، والحفاظ على البيئة.

تعد صناعة البتروكيماويات من الصناعات الأكثر قابلية لإعادة استخدام مياه الصرف الصناعي (المياه العادمة) المعاد معالجتها (7). تعرف المياه العادمة الصناعية بأنها المياه الخارجة من المصانع أو المعامل، والناتجة عن استعمال المياه في بعض أو كل مراحل التصنيع، أو التنظيف، أو التبريد أو غيرها، سواء كانت معالجة داخل المصنع أو غير معالجة. وتعتمد كمية وخصائص مياه الصرف الصناعي الناتجة عن إنتاج البتروكيماويات اعتماداً كبيراً على نوع العمليات التي تتم في الوحدات الإنتاجية، ووحدات المرافق كل على حدة.

تحتوي مياه الصرف الصناعي الناتجة عن الصناعات البتروكيماوية على نسب متفاوتة من الشوائب، والملوثات من المركبات العضوية، والفينولات، والمعادن مثل الحديد والنحاس، والمواد الصلبة الذائبة والعالقة، والزيت، والسيانيدات، والكبريتيدات، والكلور، والفينولات، والأمونيا وغيرها من الملوثات (7)، التي يجب معالجتها قبل صرفها مرة أخرى إلى المصادر المائية، أو على شبكات الصرف الصحي، أو إعادة استخدامها مرة أخرى في مختلف الاستخدامات الصناعية داخل المنشأة، ذلك وفق القوانين البيئية الصارمة، والقرارات المنظمة

التي تحدد نسب الشوائب، والملوثات المختلفة المسموح بها في المياه طبقاً لمجالات استخدامها المناسبة، أو صرفها (201).

1.1. جودة المياه

تعد المياه الطبيعية نقية نسبياً عند تكونها، لكنها تمتص الغازات عندما تدخل إلى الغلاف الجوي، خاصة غازي الأكسجين، وثاني أكسيد الكربون. كما تذوب بعض المواد المعدنية عند وصول المياه إلى الأرض، نتيجة الاتصال المباشر معها. تعتمد نسب هذه المعادن على مقدار ذوبانية الصخور والرمال، ومدة الاتصال بينهما، وتعد الكربونات، والبيكربونات، والكبريتات، والكلوريدات، والنترات، والكالسيوم، والمغنيسيوم، والصوديوم، والبوتاسيوم من المعادن الشائعة وجودها في المياه الطبيعية، كما تتواجد معادن أخرى مثل السيليكا، والحديد، والمنجنيز، بالإضافة إلى نسب منخفضة من الفوسفات، والفلوريدات.

تحتوي جميع المياه الطبيعية على غازات ذائبة، ونسب منخفضة من المواد العضوية حيث تحتوي معظم المياه السطحية على طحالب، ومجموعة متنوعة من البكتيريا، وغيرها من أشكال النباتات والحيوانات، كما تحتوي على مواد صلبة مثل الرمال، والجسيمات المشتتة الغروانية "Colloidally Dispersed Particles" (21).

بينما تحتوي المياه الجوفية على تركيزات مرتفعة من الشوائب، ونسبة الأكسجين المذاب، والرواسب مقارنةً بالمياه السطحية، كما تتميز بالتركيب الثابت من حيث كميات وأنواع الرواسب، على عكس المياه السطحية والذي كثيراً ما يظهر اختلافات في تركيبها من حيث نسب وأنواع هذه الرواسب (21). لا توجد مياه جامعة "Universal Water"، تستخدم لجميع الأغراض، لذا يطلق مصطلح "جودة المياه" على المياه طبقاً للغرض الذي تستخدم فيه. تختلف جودة المياه اختلافاً كبيراً باختلاف نوع، ومتطلبات، وغرض الاستخدامات حسب نوع الصناعة.

تتطلب كل صناعة جودة " نوعية محددة " من المياه تختلف من صناعة لأخرى، حيث قد تكون جودة المياه مناسبة لصناعة ما، ولكنها غير مناسبة أو خطيرة لصناعة أخرى، فعلى سبيل المثال، قد تتطلب الصناعات الغذائية مياه تحتوي على تركيزات من كبريتات الكالسيوم، في حين أن المياه المخصصة للغلايات (المراجل) يجب ألا تحتوي على أي أثر منها، لذا فمن الضروري معرفة متطلبات الجودة للمياه الصناعية من حيث نوعية، وكمية الشوائب الموجودة بها، وآثارها على الاستخدام الصناعي (27)، حيث تختلف الحدود المسموح بها من هذه الشوائب حسب الاستخدامات. يبين **الجدول (1)** التحاليل الكيميائية اللازمة لإحكام الرقابة على جودة المياه المستخدمة في صناعة البتروكيماويات.

التحاليل الكيميائية تعني تعيين كل من الخواص الطبيعية، والتركيب الكيميائي للمياه (21). حيث تتحكم خواص، وتركيب، وجودة المياه في تحديد مجالات استخداماتها المختلفة في العمليات الإنتاجية، والصناعية (18)، كما تؤثر الشوائب بدرجة كبيرة على تحديد طريقة المعالجة، واختيار التكنولوجيا المناسبة، والقدرة على تحديد، وتطبيق مفهوم إدارة معالجة مياه الصرف الصناعي، من حيث اختيار طرق مختلفة، ومتكاملة للمعالجة، واختيار مزيج التكنولوجيات المناسبة للمعالجة إذا لزم الأمر (26-27).

جدول (1): التحاليل الكيميائية اللازمة لإحكام الرقابة على جودة المياه المستخدمة في صناعة البتروكيماويات

الاختبارات أخرى	العضويات	الغازات الذائبة	اللافلزات	المعادن	الخواص الطبيعية
الطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي "BOD"	الهيدرازين	ثاني أكسيد الكربون	الحامضية	<ul style="list-style-type: none"> الألومنيوم الزرنيخ البورون الكادميوم الكالسيوم الكروم النحاس الحديد 	اللون
كربونات الكالسيوم	النيتروجين (بروتينات)	الكلور (المتبقي)	القاعدية	<ul style="list-style-type: none"> الرصاص الماغنسيوم المنجنيز الزئبق النيكل البوتاسيوم الصوديوم الفضة الزنك 	التوصيل الكهربائي
الثبات	النيتروجين (الدهيدات)	الأكسجين الذائب	<ul style="list-style-type: none"> الكلوريد السيانيد الفلوريد اليود النترات النترات الفوسفات السيليكا كبريتات كبريتيد 		الرائحة
طلب الأكسجين الكيميائي "COD"	الزيت، والشحوم	-----			رقم الأس الهيدروجيني
الكلور المستهلك	فينولات	-----			المواد الصلبة
	مواد التوتر السطحي	-----			<ul style="list-style-type: none"> الكلية الذائبة العالقة المترسبة
	الأحماض المتطايرة				

المصدر: Industrial Water Handbook, Principle Public Health Laboratory, India, Chemical Publishing Company, 2011.

2.1. جودة المياه وتأثير الشوائب على الاستخدامات في الصناعة

تؤثر خواص المياه، ونسب وكميات الشوائب المتواجدة بها على جودتها، يبين **الجدولان (2)، (3)** مدلولات وجود الملوثات، والشوائب، وأهم المعادن، واللافلزات، وتأثيرها على خواص، وجودة المياه المستخدمة في الصناعة (27).

جدول (2): مدلولات وجود الملوثات، والشوائب وتأثيرها على خواص المياه الصناعية وجودتها

الخاصية	تأثيرها
العكارة	✓ مواد دقيقة ناعمة معلقة، غير مستقرة، لا تترسب. تسبب مظهر موحل، غائم للمياه.
اللون	✓ يعزى وجود اللون في المياه الطبيعية، إلى وجود مخلفات عضوية نباتية، ومعادن، تسبب تغيير اللون من عديم اللون إلى اللون البني الداكن.
التوصيل الكهربائي	✓ المياه النقية ليس لها القدرة على توصيل التيار الكهربائي. ✓ ذوبانية الأملاح في المياه بسبب خاصية التوصيل الكهربائي للمياه. ✓ خاصية التوصيل الكهربائي تعد مقياساً لكمية الأملاح الذائبة في الماء (19).
المواد الصلبة العالقة	✓ يشار عادة إلى المواد الصلبة غير الذائبة في المياه، بمصطلح المواد الصلبة العالقة ✓ تتكون المواد العالقة من الطمي، والطين، والمواد العضوية، والطحالب، والبكتيريا، والفطريات، والمعادن. ✓ تحتوي على نسبة كبيرة من المواد العضوية، قد تسبب تعفن مما يؤدي إلى نقص في كمية الأكسجين المذاب. ✓ تسبب في حدوث رغوة في الغلايات، وتكون قشور على المعدات. ✓ تسبب العكارة، ويمكن أن تسد خطوط أنابيب نقل المياه، والمكونات الداخلية للمعدات. ✓ يمكن أن تترسب في المبادلات الحرارية، والغلايات. ✓ لا تمثل مثل هذه المواد مشكلات جسيمة، حال معالجتها والتخلص منها بترشيحها.
المواد الصلبة الذائبة	✓ تركيز المواد الصلبة الذائبة يعد من أحد أهم المعايير لتحديد مدى ملائمة المياه للاستخدامات الصناعية. ✓ تتكون المواد الصلبة الذائبة بشكل رئيسي من بيكربونات، وكربونات، وكبريتات، وكلوريدات، ونترات كل من الكالسيوم، والماغنيسيوم، والصوديوم، واليوتاسيوم، مع آثار الحديد والمنغنيز. ✓ يعد السيليكا عنصر مهم من المواد الصلبة الذائبة. ✓ يتواجد الفلوريد بتركيزات منخفضة جداً. ✓ يعد الفوسفات مكون للمواد الصلبة الذائبة في الغلايات. ✓ المواد الصلبة الذائبة في المياه غير مرغوب فيها للاستخدامات الصناعية، حيث تعد من العوامل الرئيسية لتكوين القشور والرواسب. ✓ التركيزات المرتفعة منها يساعد على تسريع عمليات التآكل، وتكوين الرغوى في الغلايات.
المواد الصلبة الكلية	✓ هي مجموع كميات المواد الصلبة العالقة، والذائبة.

تابع جدول (2): مدلولات وجود الملوثات، والشوائب وتأثيرها على خواص المياه الصناعية وجودتها

الخاصية	تأثيرها
عسر الماء (القساوة)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ عسر الماء " قساوة المياه " هو تعبير يستخدم لوصف حالة المياه عندما تكون نسبة الأملاح المعدنية فيها مرتفعة. ✓ تعد أملاح الكالسيوم والمغنسيوم أحد أهم الأملاح المعدنية المسببة لعسر الماء. ✓ يجب مراقبة عسر الماء، حيث أنه من أهم الأسباب الرئيسية لتكوين القشور (19).
القاعدية (القلوية)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ قد يكون هناك خلط بين مفهوم تعريف رقم الأس الهيدروجيني، وتعريف القاعدية. ✓ مفهوم الأس الهيدروجيني هو مدي حامضية أو قاعدية السائل، بينما القاعدية هي مقدار قدرة المياه "السائل" على امتصاص الحمض دون تغيير في رقم الأس الهيدروجيني. ✓ تتكون الترسبات في حالة القاعدية المرتفعة. ✓ تساعد القيم المنخفضة من القاعدية على حدوث التآكل (19). ✓ المواد القلوية يمكن أن تتحول إلى ثاني أكسيد الكربون (CO_2) في البخار مما يسبب حدوث التآكل. ✓ يمكن تعيين البيكربونات (HCO_3)، الكربونات (CO_2)، والهيدرات (OH)، بطريقة المعايير.
رقم الأس الهيدروجيني PH	<ul style="list-style-type: none"> ✓ يتميز الماء بقدرته على السلوك كحمض أو كقاعدة في التفاعلات الكيميائية. ✓ يستخدم رقم الأس الهيدروجيني لقياس درجة حموضة أو قلوية السائل. ✓ هناك استخدامات معينة يلزم أن يكون فيها المياه في مدى معين من رقم الأس الهيدروجيني
الحموضة	<ul style="list-style-type: none"> ✓ الحموضة ليست مكوناً وحيداً رئيسياً. ✓ هي مقياس لتأثيرات مجموعة من المواد والظروف في الماء. ✓ يمكن تعريف الحموضة بأنها قدرة المياه على معادلة أيونات الهيدروكسيل، ويعبر عنها بكميات الكالسيوم. ✓ تنجم الحموضة عادة نتيجة وجود ثاني أكسيد الكربون الحر، والأحماض المعدنية مثل حمض الكبريتيك، والأحماض ضعيفة التفكك، كما تنتج أيضاً من تحلل الحديد، وأملاح الألومنيوم. ✓ لا تحتوي معظم المياه الطبيعية على أي حموضة معدنية ولا تحتوي إلا على حموضة ثاني أكسيد الكربون. ✓ لا يوجد حد معين للحموضة ولكن يتم التحكم فيها بطريقة غير مباشرة عن طريق تعيين حدود رقم الأس الهيدروجيني. ✓ تسبب الحموضة الزائدة أضراراً للهياكل المعدنية. ✓ يجب تجنبها للتخفيف من ظاهرة التآكل. ✓ تحتاج معظم العمليات الصناعية إلى مياه خالية من الحموضة، حتى من حموضة ثاني أكسيد الكربون (27).
الحموضة المعدنية الحرة	<ul style="list-style-type: none"> ✓ يعزى وجود الحموضة المعدنية الحرة لوجود حامض الكبريتيك، وحامض الهيدروكلوريك.
الغازات الذائبة	<ul style="list-style-type: none"> ✓ عبارة عن غازات قد تكون ذائبة في المياه مثل غاز الأكسجين، وغاز ثاني أكسيد الكربون. ✓ يساعد وجود مثل هذه الغازات الذائبة على حدوث ظاهرة التآكل.
الكاتيونات	<ul style="list-style-type: none"> ✓ أيونات موجبة الشحنة مثل الكالسيوم Ca^{++}، والمغنسيوم Mg^{++}، والصوديوم Na^+، والبوتاسيوم K^+
الأنيونات	<ul style="list-style-type: none"> ✓ أيونات سالبة الشحنة، مثل الكلوريات، والكبريتات (SO_4)، والكلوريد، والنترات (NO_3)

المصدر: Boiler Water- Problems & Solutions, PDH Course M165

جدول (3): أهم المعادن واللافلزات وتأثير وجودها على جودة مياه الصناعة

النوع	التأثير على جودة المياه ومشكلات الصناعة
السيليكا	<ul style="list-style-type: none"> ✓ تتراوح نسبة السيليكا في المياه الطبيعية بين 1 ملغرام/لتر إلى 100 ملغرام/لتر. ✓ تشكل السيليكا مع الكالسيوم "قشور سيليكات الكالسيوم"، وتشكل مع الألومنيوم "قشور سيليكات الألومنيوم"، وتشكل مع الحديد ترسبات صلبة يصعب التخلص منها. ✓ يسبب وجود السيليكا مشكلات خطيرة للغلايات توليد البخار، نتيجة تكون قشور من السيليكا، أو من مركبات السيليكا. ✓ يمكن أن تشكل السيليكا رواسب في أنظمة مياه التبريد ولكنها ليست بذات الأهمية، كما هو الحال في نظام الغلايات. ✓ يسبب تكون القشور خفض في خاصية التوصيل الحراري. ✓ تركز السيليكا يصبح مهماً فقط لمياه التبريد فقط عندما يكون تركيزها حوالي 150 ملغرام / لتر، أو إذا كان محتوى المغنيسيوم وقيم الأس الهيدروجيني مرتفعة (27).
الألومنيوم	<ul style="list-style-type: none"> ✓ الألومنيوم، أكثر المعادن وفرة في قشرة الأرض. ✓ يتواجد في المياه الطبيعية من خلال اتصاله مع الصخور، والتربة، والطين التي تحتوي على الألومنيوم. ✓ يتواجد الألومنيوم بصورة شائعة في صورة كبريتات الألومنيوم. ✓ تعد ظاهرة تآكل أنابيب الألومنيوم في مكثفات، وسخانات مياه التغذية، أو في المياه الصناعية، أحد أهم مصادر الألومنيوم في المياه. ✓ معدن الألومنيوم غير مرغوب فيه في مياه الصناعة، حيث يسبب وجوده تكون تشكيل الحمأة.
الحديد	<ul style="list-style-type: none"> ✓ تحتوي المياه الطبيعية على نسب منخفضة جداً من الحديد، تتواجد على شكل بيكربونات الحديد "Ferrous Bicarbonate". ✓ عادة ما تكون المياه الطبيعية نظيفة تماماً وعديمة اللون. ✓ تتلون المياه بسبب تأكسد بيكربونات الحديد القابلة للذوبان عند التعرض إلى الهواء، وتتحول إلى رواسب هيدروكسيد حديد، ويتغير لون المياه من الأصفر إلى البني المحمر عند ارتفاع نسبة الحديد، ويصبح الماء عكراً. ✓ مياه الغلايات، ومياه التبريد يجب أن تكون خالية تقريباً من معدن الحديد. ✓ ينتج الحديد من تآكل مكونات الغلايات، مما يسبب مشكلات خطيرة نتيجة تحول الحديد إلى أكاسيد الحديد، والذي يترسب مكوناً طبقة لاصقة على أسطح الأنابيب، لا يمكن التخلص منه حتى بتقوير "هدر" المياه. ✓ قد يتحد الحديد مع سيليكات الصوديوم (حال وجودها)، مكوناً رواسب صلبة ملتصقة، تؤثر على أسطح المبادلات الحرارية.
الرصا	<ul style="list-style-type: none"> ✓ لا يتواجد الرصاص بشكل طبيعي في المياه. ✓ يتواجد الرصاص في المياه نتيجة عمليات التآكل التي تحدث للأنابيب، أو سبائك الوصلات المصنعة من الرصاص، أو نتيجة تلوث مياه الصرف الصناعي الناتج عن العمليات الصناعية. ✓ لا يمثل وجود الرصاص في مياه الصناعة مشكلة كبيرة أو مؤثرة على العمليات الصناعية.
المغنيسيوم	<ul style="list-style-type: none"> ✓ يمكن أن يتواجد على هيئة كاتيونات ذائبة، لها القابلية على الترسيب مسببة تغيير في لون المياه، وتلوثها.

تابع جدول (3): أهم المعادن واللافلزات وتأثير وجودها على جودة مياه الصناعة

النوع	التأثير على جودة المياه ومشكلات الصناعة
الكلوريد	<ul style="list-style-type: none"> ✓ الكلوريد هو أنيون شائع الوجود في المياه. ✓ يختلف تركيز الكلوريد في المياه الطبيعية من بضعة ملغرامات إلى عدة آلاف ملغرامات / ليتر. ✓ وجود الكلوريد بتركيزات أقل من 50 ملغرام/ ليتر ليس له آثار ضارة على الاستخدامات الصناعية. ✓ تركيزات الكلوريدات المرتفعة لها تأثير ضار على الأنابيب، والهياكل المعدنية، حيث تؤثر بشكل ما على زيادة معدلات تآكل الفولاذ، وسبائك الفولاذ المقاوم للصدأ. ✓ يجب أن يتم التحكم في تركيز الكلوريد بعناية في الأنظمة التي تستخدم فيها هذه المواد. ✓ وجود الكلوريد على هيئة كلوريد كالسيوم، أو كلوريد ماغنسيوم غير مرغوب فيه ولو بتركيزات منخفضة. ✓ يتسبب وجوده في حدوث تآكل شديد للمراحل البخارية، كما أنه غير مرغوب فيه في مياه العمليات.
الكلور	<ul style="list-style-type: none"> ✓ لا يتواجد الكلور بشكل طبيعي في المياه. ✓ يضاف الكلور إلى المياه للسيطرة على نمو البكتيريا، والكائنات الحية التي تساعد على تكوين العفن. ✓ نسبة الكلور في المياه الطبيعية لا تزيد عن 2 ملغرام/ ليتر بعد معالجتها بالكلور. ✓ تتسبب التركيزات المرتفعة من الكلور في تسريع معدلات التآكل في أبراج التبريد لاسيما في وجود الأكسجين. ✓ قد يؤدي الاتصال المباشر مع الكلور الحر إلى التأثير على مواد الحشو لأبراج التبريد.
الكروم	<ul style="list-style-type: none"> ✓ معدن الكروم ليس مكونا طبيعيا للمياه. ✓ تتواجد نسب من معدن الكروم نتيجة عمليات الصرف الصناعي للصناعات التي تحتوي عليه. ✓ يسبب التركيز المرتفع لمعدن الكروم تغيير لون المياه، كما أنه مادة مسرطنة. ✓ إذا دخل الكروم إلى مياه الغلايات، وتواجد بتركيزات مرتفعة فسوف يتحول إلى كروم ثلاثي التكافؤ، ويترسب على هيئة هيدروكسيد الكروميك. ✓ في أنظمة التبريد المغلقة يستخدم الكروم كمثبط للتآكل.
النحاس	<ul style="list-style-type: none"> ✓ نادرا ما يوجد النحاس في المياه الطبيعية. ✓ يعزى وجود النحاس إلى تآكل الأنابيب النحاسية المستخدمة في الصناعة، أو لاستخدام مركبات النحاس في التحكم والسيطرة على نمو الطحالب في الخزانات. ✓ وجود الأمونيا بتركيزات أكثر من 10 ملغرام/ليتر، بالإضافة على الأكسجين الذائب، يعمل على تآكل النحاس، والسبائك النحاسية. ✓ يلزم تحديد نسب النحاس في المياه الصناعية، لرصد عمليات التآكل. ✓ النحاس لديه ميل لمهاجمة الألمنيوم، حتى في حالة تواجده بكميات ضئيلة جداً، خاصة في الماء العسر. ✓ يمكن أن يترسب النحاس في مواسير وأنابيب الغلايات (المراحل).
السيانيد	<ul style="list-style-type: none"> ✓ لا يتواجد السيانيد بشكل طبيعي في المياه. ✓ قد يتواجد السيانيد نتيجة عمليات تنقية الغازات في بعض الصناعات. ✓ يعزى وجود معدن السيانيد إلى عمليات الصرف الصناعي، للصناعات التي تحتوي عليه. ✓ السيانيد معدن شديد الخطورة، وله قيمة سمية مرتفعة.

تابع جدول (3): أهم المعادن واللافلزات وتأثير وجودها على جودة مياه الصناعة

النوع	التأثير على جودة المياه ومشكلات الصناعة
الفلوريد	<ul style="list-style-type: none"> ✓ يتواجد الفلوريد بشكل طبيعي في المياه. ✓ لا تحتوي المياه السطحية عادة على كميات مرتفعة من الفلوريد، ما لم يتم تلوثها بالنفائات الصناعية لبعض الصناعات مثل صناعة الأسمدة.
الهيدرازين	<ul style="list-style-type: none"> ✓ لا يتواجد الهيدرازين بشكل طبيعي في المياه. ✓ يتم إضافة الهيدرازين إلى مياه التغذية، ومياه الغلايات "المراحل" لإزالة بقايا الأكسجين. ✓ يتفاعل الهيدرازين مع الأكسجين ليكون مياه، وغاز النيتروجين، وهي مركبات غير ضارة، ولا تضاف كميات توأجدها إلى مجموع كميات المواد الصلبة الذائبة في مياه الغلايات. ✓ تواجده الهيدرازين بنسب مرتفعة، يؤدي إلى تحلله إلى أمونيا، ويتداخل مع البخار، وهو أمر شديد الخطورة عند وصوله إلى مكثف البخار، حيث يسبب تآكل شديد للأجزاء المكونة له من النحاس، وسبائك النحاس، في وجود الأكسجين.
الزيوت والشحوم	<ul style="list-style-type: none"> ✓ وجود الزيوت والشحوم في المياه، يسبب تكون مستحلبات، وتلوث للمياه.
الزئبق	<ul style="list-style-type: none"> ✓ وجود الزئبق في المياه نادر جداً. ✓ قد يتواجد الزئبق نتيجة بعض الصناعات، مثل الأصباغ، والمبيدات الزراعية، ومبيدات الفطريات. ✓ مركبات الميثيل زئبق، وأسيئات الفينيل الزئبقية من أكثر مركبات الزئبق انتشاراً.
النكل	<ul style="list-style-type: none"> ✓ لا يتواجد النكل بشكل طبيعي في المياه. ✓ تحتوي بعض شبكات المياه على سبائك من الفولاذ المقاوم للصدأ، والنكل. ✓ وجود نسب من معدن النكل في مياه الغلايات دليل على حدوث تآكل في سبائك النكل المكونة لأجزاء من الغلايات. ✓ يسلك النكل نفس سلوك النحاس، من حيث إمكانية ترسيبه، أما على شكل أكاسيد، أو نكل معدني "Metallic Nickel".
النترات	<ul style="list-style-type: none"> ✓ تتواجد بنسب ضئيلة عادة في المياه السطحية، بينما قد تتواجد بنسب مرتفعة في المياه الجوفية. ✓ يسهم استخدام الأسمدة في تسرب النترات إلى المياه الجوفية. ✓ يعد الصرف الصناعي لصناعات الأسمدة، والكيماويات، من المصادر الهامة لتلوث المياه بالنترات. ✓ تستخدم النترات كإضافات كيميائية لمعالجة مياه التبريد (مركبات مانع التآكل). ✓ تستخدم النترات وحدها، أو مع بعض المركبات العضوية الأخرى كعوامل إضافية، لمنع تدهور المواد الكاوية في الغلايات التي تعمل بضغط منخفضة.
النيتريت	<ul style="list-style-type: none"> ✓ تتشكل النيتريت بشكل عام بفعل البكتريا على الأمونيا، والمواد العضوية النيتروجينية؛ حيث تتحول النيتريت إلى أمونيا في الظروف الهوائية، واللاهوائية. ✓ تضاف مركبات النيتريت لمياه التبريد، ومياه الصناعة كمثبطات لعمليات التآكل.

تابع جدول (3): أهم المعادن واللافلزات وتأثير وجودها على جودة مياه الصناعة

النوع	التأثير على جودة المياه ومشكلات الصناعة
المواد العضوية	<ul style="list-style-type: none"> ✓ المواد العضوية ليست مكوناً وحيداً، بل يتواجد عدد من المواد العضوية في المياه. ✓ يعزى وجود المواد العضوية إلى التلوث الناتج عن عمليات الصرف الصناعي، والصحي. ✓ تعد الأنشطة الزراعية، وتحلل النباتات، والحيوانات، وغسيل التربة أحد أهم مسببات وجود المواد العضوية في المياه. ✓ يعزى تغيير لون، وطعم، ورائحة المياه الطبيعية إلى وجود المواد العضوية. ✓ معالجة المياه، والتخلص من المواد العضوية يعد أمراً حتمياً لاستخدام المياه في العمليات الصناعية. ✓ أكسدة المواد العضوية باستخدام الكلور، أو ثاني أكسيد الكلور، أو الأوزون يحولها إلى مواد غير ضارة.
الأكسجين الذائب	<ul style="list-style-type: none"> ✓ يتواجد الأكسجين الذائب في معظم المياه بتركيزات مختلفة. ✓ تتراوح نسبة الأكسجين الذائب في المياه السطحية من 3 إلى 12 ملغرام / ليتر. ✓ ذوبانية الأكسجين تعتمد على درجة الحرارة، والضغط، ونسبة ملوحة المياه. ✓ وجود الأكسجين الذائب في مياه الصناعة، أحد أهم مسببات حدوث التآكل للمعادن المستخدمة في الصناعة مثل الحديد، والحديد المجلفن، والفولاذ، والنحاس. ✓ قيم رقم الأس الهيدروجيني المنخفض يسهم في اسراع عمليات التآكل، بينما القيم المرتفعة منه تعمل على تأخيرها. ✓ مياه الصناعة يجب ان تكون خالية من الأكسجين الذائب، وخاصة في مياه الغلايات. ✓ يزداد معدل التآكل بارتفاع درجة الحرارة، حيث يزداد بنحو 500 مرة عند درجة حرارة 90 °م مقارنة بدرجة 0 °م. ✓ محتوى الأكسجين الذائب في مياه تغذية الغلايات يجب أن تكون قيمته منخفضة ولا تتعدى 0.005 ملغرام / ليتر. ✓ يمكن إضافة مركبات (الصوديوم، والكبريت، والهيدرازين) إلى مياه تغذية الغلايات لإزالة الأكسجين المتبقي.
الفينولات	<ul style="list-style-type: none"> ✓ الفينولات، والمركبات الفينولية غير موجودة في المياه الطبيعية، وتنتج من بعض النشاطات والصناعات. ✓ يسبب وجود الفينول ولو بتركيزات منخفضة جداً (0.001 ملغرام/ليتر)، وجود رائحة مميزة للمياه. ✓ إزالة المركبات الفينولية من إمدادات المياه يشكل تحدياً خطيراً لعمليات المعالجة. ✓ يمكن إزالة الفينولات من المياه ببعض طرق المعالجة. ✓ من أهم طرق إزالة الفينول، المعالجة بامتزاز الكربون المنشط، والمعالجة الفائقة بالكلور، والمعالجة بالكلور، والأمونيا.
الفوسفات	<ul style="list-style-type: none"> ✓ يتواجد الفوسفات في المياه السطحية أو الجوفية كنتيجة لبعض النشاطات الزراعية، واستخدام المنظفات الصناعية، أو تلوث ناتج من عمليات الصرف الصناعي لبعض الصناعات. ✓ يستخدم الفوسفات، ومركبات الفوسفات كمثبطات لتكوين القشور، وموانع التآكل في الغلايات التي تعمل في ضغوط أعلى من 400 بوند ثقلي في البوصة المربعة "psi"، ومياه التبريد.

المصدر: Industrial Water Handbook, Principle Public Health Laboratory, India, Chemical Publishing Company, 2011.

3.1. استخدامات المياه في صناعة البتروكيماويات

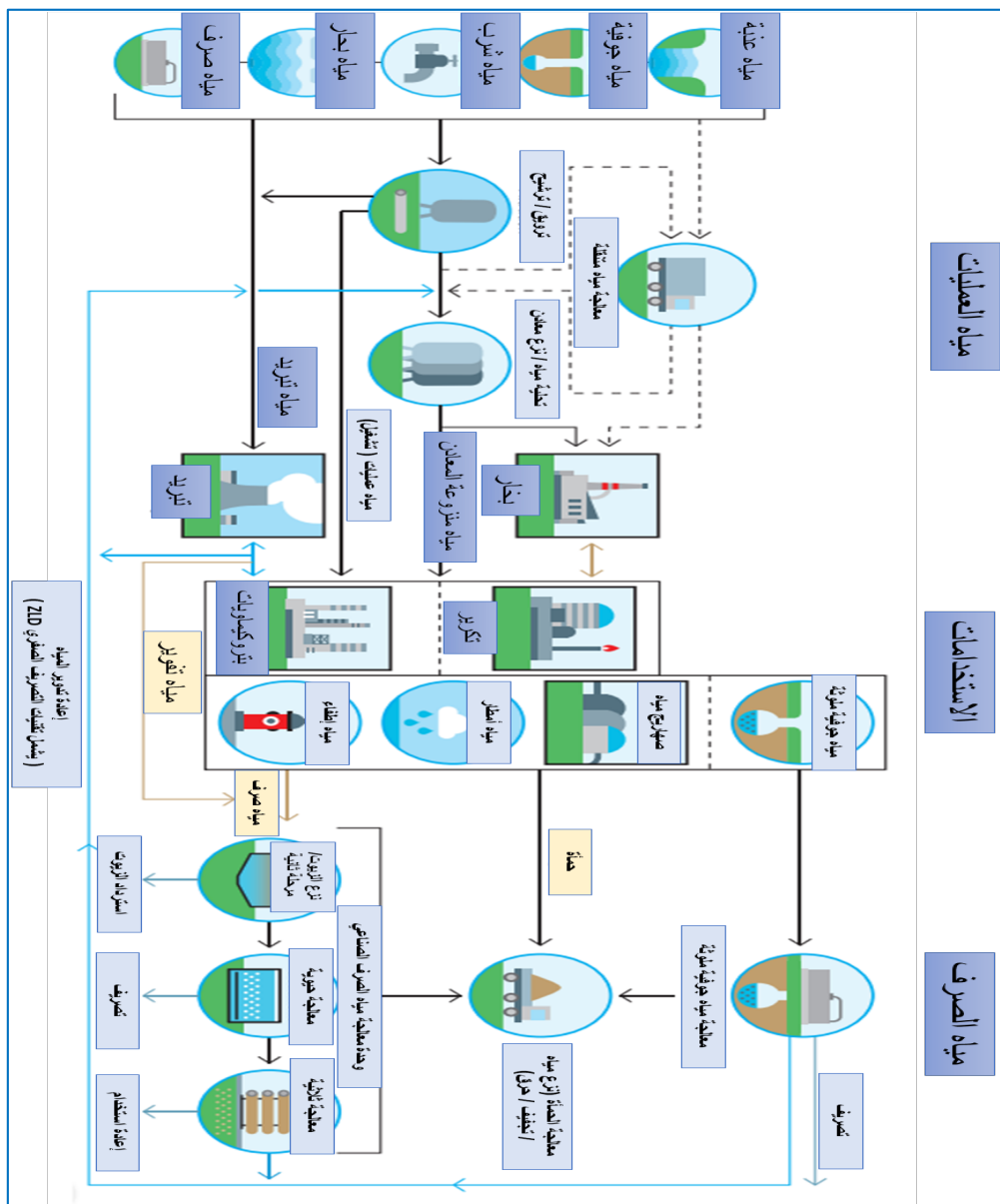
تستهلك مجمعات صناعة البتروكيماويات كميات ضخمة من المياه، وأكثر هذه المجمعات يملك موارده المائية الخاصة، سواءً من مصادر المياه السطحية، أو الجوفية، أو من كليهما. ويستخدم بعضها الآخر مياه الشرب البلدية، جزئياً أو كلياً. تنشئ مصانع البتروكيماويات وحدات خاصة بها من المرافق لتأمين احتياجاتها من الطاقة والبخر، أو تأمينها من مصادر خارجية، وتقوم عادة بتوليد ما تحتاجه من البخر بضغط معتدلة (20)، حيث تستخدم مصانع البتروكيماويات كميات ضخمة من البخر في وحداتها الإنتاجية المختلفة، مثل وحدات تكسير الإيثيلين، والنافثا بالبخر "Steam Cracking" لإنتاج الإيثيلين، أو لإنتاج الهيدروجين بطريقة الإصلاح بالبخر "Steam Reforming". هذا وتقوم عدد من مجمعات البتروكيماويات بمعالجة، وتنقية، وإعادة استخدام جزء مياه الصناعة، والمياه الخدمية في مصانعها.

تصنف المياه المستخدمة في صناعة البتروكيماويات طبقاً لاستخداماتها النهائية، كمياه تغذية، أو تبريد، أو تعويض "Make Up"، أو مياه فائقة النقاوة لتغذية المراحل وإنتاج البخر المستخدم في عمليات التسخين، والتبخير، والتجفيف، بالإضافة إلى استخدام المياه للإطفاء، والخدمات، والشرب، وغيرها من الاستخدامات الأخرى. يبين شكل (1) استخدامات المياه المختلفة في صناعتي التكرير والبتروكيماويات (30).

1.3.1. الغلايات (المراحل) لإنتاج البخر

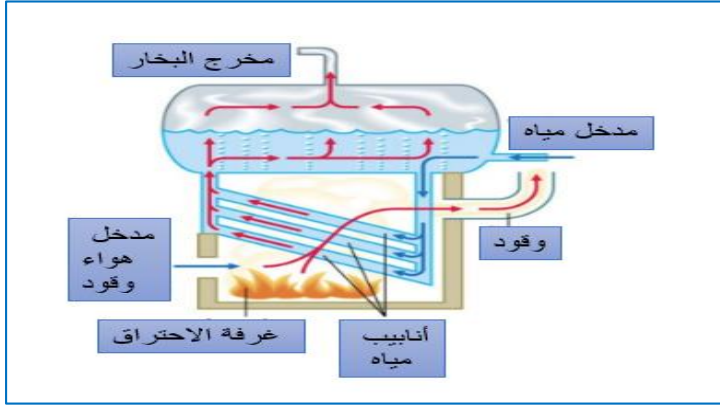
الغلاية (المرجل) عبارة عن جهاز لتوليد البخر، يتكون من جزئين رئيسيين هما، الفرن لتوليد الحرارة عن طريق حرق الوقود، والغلاية، وهو الجهاز الذي يحول المياه إلى بخار بواسطة الحرارة. يستخدم البخر الناتج في مختلف العمليات الصناعية والإنتاجية، يبين شكل (2) مخطط مبسط لألية عمل الغلاية وإنتاج البخر (23)، ويبين شكل (3) مسقط أفقي لغلاية توليد البخر في مصنع داو للكيماويات، بمقاطعة ألبرتا في كندا (21).

شكل (1): استخدامات المياه المختلفة في صناعتي التكرير والبتروكيماويات



Water for downstream refining and petrochemical industries: المصدر

شكل (2): مخطط مبسط لألية عمل الغلاية وإنتاج البخار



المصدر: <https://www.lenntech.com/applications/process/boiler/boiler-feed-water.htm>

شكل (3): مسقط افقي لغلاية توليد البخار في مصنع "داو" للكيماويات

بمقاطعة ألبرتا في كندا



المصدر: amecfw.com, Package steam generating systems

تعتمد جودة مياه التغذية "التعويض" على مصادرها من حيث احتوائها على نسب من الشوائب، والملوثات (26). لذا فإنه في حال عدم معالجتها بصورة صحيحة قد تتسبب في تلوث أسطح نقل الحرارة، وزيادة معدل استهلاكات الطاقة. كما قد تحتوي مياه التعويض على نسب من الأكسجين الذائب، مسببةً تكون القشور، وزيادة معدلات عمليات التآكل، وكلما زادت كميات مياه التعويض، كلما زادت معها كميات الرواسب، والأكسجين الذائب.

طرق المعالجة الناجحة للمياه تستهدف تحقيق متطلبات النظام ككل وتشمل، تجهيز المياه قبل الدخول إلى الغلاية وتغذيتها، وتعظيم الاستفادة من المتكثفات، وتحقيق الحماية الداخلية للغلاية، والمحافظة على نظافة الغلاية من الداخل، وتجنب حدوث مشكلات تعمل على توقف الغلاية وخروجها من الخدمة، والمساعدة على إطالة فترة عمر عمل الغلاية، ومراقبة مستويات المعالجة اللازمة والتحكم بها، لذا فإن جودة مياه الغلايات أمراً هاماً لتجنب الإضرار بها وحدوث خسائر جسيمة (26).

1.1.3.1. مياه تغذية الغلايات

مياه تغذية الغلايات يجب أن تكون مياه ذات مواصفات خاصة، وعادة ما تكون خليط من المتكثفات "Condensate" بنسبة 95-99%، وتكون النسبة المتبقية من مياه التعويض، وقد تصل نسبة المتكثفات إلى 100% من إجمالي مياه تغذية الغلايات.

يجب التأكد من جودة المياه قبل البدء في إمداد الغلايات بالمياه لحمايتها من تكون القشور والترسبات، يبين الجدول (4) المواصفات القياسية لمياه الغلايات، طبقاً للرابطة الأمريكية لمصنعي المراجل "American Boiler Manufactures Association, ABMA"، والجمعية الأمريكية للمهندسين الميكانيكيين "American Society of Mechanical Engineers, ASME"، حسب الضغوط التي تعمل بها (25,26).

جدول (4): المواصفات القياسية لمياه الغلايات

الضغط (بار)									
-103.5 137.9	-96 103.4	-62.2 68.9	-51.8 62.1	-41.5 51.7	-31.1 41.4	-20.8 31.0	-0 20.7	الوحدة القياسية	الخاصية
المواصفات القياسية لمياه تغذية الغلايات									
0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.04	0.04	ملغرام/لتر	الأكسجين الذائب
0.01	0.01	0.02	0.02	0.025	0.03	0.05	0.1	ج.ف.م	الحديد
0.01	0.01	0.015	0.015	0.02	0.02	0.025	0.05	ج.ف.م	النحاس
غير محدد		0.05	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	ملغرام/ لتر	القساوة الكلية CaCO ₃
0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.5	1	1	ملغرام/لتر	الكربون العضوي الكلي "TOC"
0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.5	1	1	ملغرام/لتر	المواد الزيتية
9.6-9	9.6-9	-8.5 9.5	10-7.5						الأس الهيدروجيني عند 25° م
المواصفات القياسية لمياه الغلايات									
1	2	8	20	30	40	90	150	ج.ف.م	السيليكا
غير محدد		10	150	200	250	300	350	ملغرام/لتر	القلوية الكلية CaCO ₃
100	150	1000	1500	2000	2500	3000	3500	ميكروسيمنس/سم μS/cm	التوصيل النوعي عند 25° م بدون معادلة

المصدر: Characteristic of boiler feedwater-Lenntech

Boiler Water- Problems & Solutions, PDH Course M165.

تجرى العديد من التحاليل الكيميائية على مختلف أنواع مياه الغلايات بصورة دورية سواء مرة واحدة كل ورديّة، أو على فترات ثابتة، أو عند الحاجة، ذلك طبقاً لمتطلبات كل اختبار بهدف احكام رقابة الجودة على المياه، والتأكد من مطابقتها للمواصفات القياسية حسب استخداماتها المختلفة، كما يبين **الجدول (5)**. هذا وتحدد نتائج الاختبارات مدي الحاجة لإجراء عمليات معالجة للمياه "إذا دعت الضرورة" (26:21).

جدول (5): تحاليل دورية لإحكام الرقابة على جودة مياه تغذية الغلايات

الخاصية	تكرارية إجراء الاختبار
التوصيل الكهربى	باستمرار
رقم الأس الهيدروجينى	باستمرار
القساوة الكلية	يومي
القاعدية الكلية	تجرى عند الحاجة
محتوى الكلوريد	مرة واحدة كل ورديّة (مرة كل 8 ساعات)
السيليكا	باستمرار
الأكسجين الذائب	باستمرار
نسبة المتبقى من كيريتيت الصوديوم، هيدرازين	مرة واحدة كل ورديّة (مرة كل 8 ساعات)
الفوسفات	مرة واحدة يومياً (في حالة تخفيف المياه بالكلس Lime)
الحديد	على فترات
النحاس	تجرى عند الحاجة
المواد الزيتية	تجرى عند الحاجة

المصدر: Industrial Water Handbook, Principle Public Health Laboratory, India, Chemical Publishing Company, 2011.

تعالج مياه الغلايات حسب الضغوط التي تعمل بها، فإذا ما كانت المياه لتغذية الغلايات التي تعمل ضمن الضغوط المنخفضة، فقد تكفي عملية إزالة العسر فقط، كما قد يحدث عن طريق تبادل كاتيونات الصوديوم، أما الغلايات التي تعمل ضمن الضغوط المتوسطة، فقد يلزم معالجة المياه لخفض قيمة المواد الصلبة والقلوية، إضافة إلى إزالة العسر بطرق المعالجة على الساخن، أو بطريقة تبادل الكلس البارد لكاتيونات الصوديوم على مرحلتين، أو بطريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين، وبعد ذلك، بالتعادل بالصودا الكاوية، وهو الأكثر شيوعاً.

في حالة إنتاج بخار بضغط مرتفعة فإنه بالإضافة إلى إزالة العسر، وخفض قيمة المواد الصلبة في المياه، يلزم أيضاً خفض محتوى السيليكا، وذلك عن طرق المعالجة بالتبادل لكاتيونات الصوديوم، أو المعالجة بالفوسفات.

أما في حالة الغلايات التي تعمل بضغط مرتفع جداً لا بد من استخدام مياه ذات درجة نقاوة قصوى، ذلك بإزالة كافة الشوائب، عن طريق إزالة المعادن بتبادل الأيونات، أو بالتقطير (20). مع الأخذ في الاعتبار أن مكونات دائرة بخار الماء قد تسبب عمليات التآكل، أو التلوث ليس فقط لأسطح نقل الحرارة للغلايات، ولكن أيضاً للتوربينات البخارية، والمبادلات الحرارية. يجب مراعاة تحديد مسببات تآكل أسطح نقل الحرارة، وقد يعزى إلى وجود المواد الصلبة الكلية، والقلوية، والحموضة الحرة، بالإضافة إلى وجود الأكسجين الذائب، وثاني أكسيد الكربون، كما أن وجود معادن مثل الحديد، والنحاس يعمل على تلوث أسطح نقل الحرارة.

2.1.3.1. مياه الغلايات

دراسة نتائج اختبارات عينات مياه الغلايات مفيدة للغاية، حيث يمكن التعرف على الظروف الداخلية للغلاية، ومنها يمكن التعرف على مدى الحاجة لإجراء بعض المعالجات اللازمة للمياه بإضافة بعض الكيماويات إذا دعت الحاجة لذلك، وفي هذه الحالة فإن هناك بعض الاختبارات يلزم إجراؤها لإحكام الرقابة، ومتابعة مواصفات المياه، كما ذكر في الجدول (5) (21).

3.1.3.1. المتكثفات

المتكثفات "Condensate" عبارة عن مياه ذات درجة نقاوة قصوى ناتجة عن تكثيف البخار المنتج. من المهم تعيين خواص العكارة، والتوصيل الكهربائي، والقساوة للمتكثفات لمعرفة ما إذا كان هناك أي تسريب للبخار في المبادلات الحرارية أو المكثفات. ويجري أيضاً اختبار تعيين نسبة السيليكا للتعرف على ما إذا كان هناك تلوث للبخار الراجع، وتفيد مراقبة قيم الأس الهيدروجيني للمتكثفات في تحديد مدى الحاجة إلى إضافة الأمينات بشكل منتظم إذا دعت الضرورة، تكون قيمة رقم الأس الهيدروجيني في حدود "8" بعد إضافة الأمينات. يجري اختبار تعيين نسب المعادن مثل الحديد، والنحاس، بالإضافة إلى اختبار الأكسجين الذائب لتحديد حدوث عمليات التآكل، يبين الجدول (6) الاختبارات الروتينية اللازمة لإحكام ومراقبة جودة المتكثفات (21).

جدول (6): الاختبارات الروتينية اللازمة لإحكام ومراقبة جودة المتكثفات

الخاصية	تكرارية إجراء الاختبار
العكارة	مرة في اليوم
التوصيل الكهربائي	باستمرار
رقم الأس الهيدروجيني	باستمرار
القساوة الكلية	تجرى عند الحاجة
السيليكا	باستمرار
الصوديوم	تجرى عند الحاجة
النحاس	تجرى عند الحاجة
الحديد	تجرى عند الحاجة
المواد الزيتية	تجرى عند الحاجة

المصدر: Industrial Water Handbook, Principle Public Health Laboratory, India, Chemical Publishing Company, 2011.

4.1.3.1. تفوير الغلايات

عملية تفوير "هدر" مياه الغلايات هي عملية رئيسية تتم وفق برامج المعالجة المعدة لكل غلاية للتخلص من الحماة المترسبة، والمعادن الذائبة خارج الغلاية حتى لا تتسبب في أضرار جسيمة لها، تكون عملية التفوير مستمرة أو على فترات متقطعة، قد تكون هناك حاجة لتفوير مياه الغلاية كل ساعة " إذا تطلب ذلك". في كل الحالات يجب أن يكون هناك توازن بين عملية التخلص من الملوثات والشوائب من المعادن، وفقد الحرارة، والمعالجات الكيميائية اللازمة (21).

5.1.3.1. البخار

من الضروري مراقبة نقاوة البخار المنتج، بتعيين خاصية التوصيل الكهربائي، أو حساب تركيز الصوديوم في عينة المتكثفات (21).

2.3.1. التكسير بالبخار

التكسير بالبخار يبقى هو حجر الزاوية في صناعة البتروكيماويات لإنتاج الأوليفينات (الإيثيلين، والبروبيلين، والبيوتاديين، والبيوتين)، أو العطريات (بنزين عطري، وطولوين، وزايلين). هذا ويعتمد اختيار المادة الخام الأولية للتصنيع على مدى توافرها، سواء كانت مواد أولية (لقيم) غازية مثل الإيثان، والبروبان، أو مواد أولية سائلة مثل النافثا، وزيت الغاز، والمتكثفات الغازية، وأيضاً طبقاً لسلة المنتجات النهائية المطلوب إنتاجها (3). وتبقي كمية البخار اللازمة للإنتاج معتمدة بشكل أساسي على نوع المادة الخام الأولية (القيم) المستخدمة، أي تعتمد على نسبة الهيدروكربونات إلى البخار. تحتاج الهيدروكربونات الأخف إلى كميات أقل من البخار مقارنةً بالهيدروكربونات الأثقل. وتعتمد سلة المنتجات التي يتم الحصول عليها أيضاً على درجة حرارة التكسير للفرن، وزمن المكوث في المفاعل "Residence time".

يمثل الجدول (7) تقديرات كميات البخار اللازمة لعمليات التكسير بالبخار تبعاً لنوع اللقيم المستخدم (4). ويمثل شكل (4) مخطط مبسط لعملية الانحلال الحراري للهيدروكربونات بالبخار.

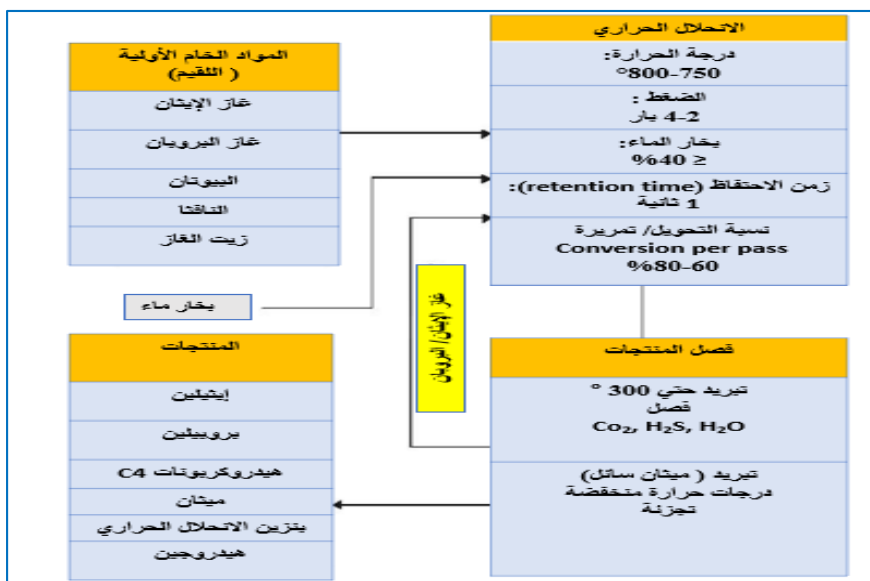
جدول (7): تقديرات كميات البخار اللازمة لعمليات التكسير بالبخار

تبعاً لنوع اللقيم المستخدم

كمية البخار كجم / كجم هيدروكربون	المادة الخام الأولية
0.4-0.2	إيثان
0.5 – 0.3	بروبان
0.8 -0.4	نافثا
1.0 – 0.8	زيت الغاز

المصدر: Naphtha and Gas Cracking for Production of Olefins

شكل (4): مخطط مبسط لعملية الانحلال الحراري للهيدروكربونات بالبخار

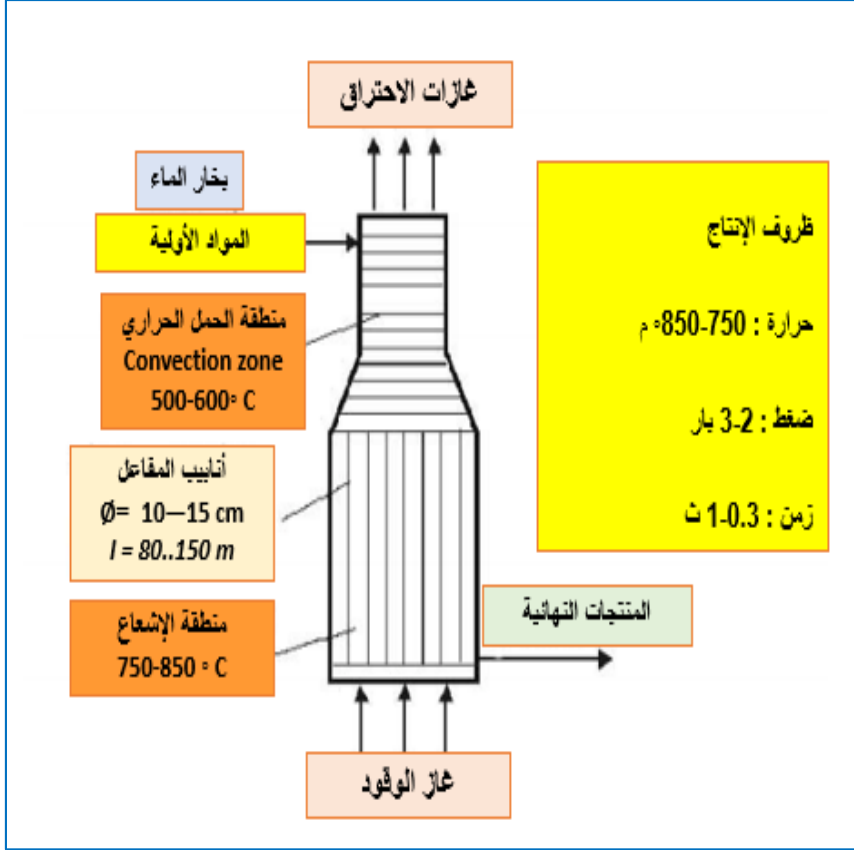


المصدر: Petroleum Refining and Petrochemical Processes, Production of Olefins – Steam Cracking of hydrocarbons

يستخدم مفاعل فرن الانحلال الحراري "pyrolysis furnace"، وهو الأكثر شيوعاً في عمليات الانحلال الحراري للهيدروكربونات الخفيفة مثل الإيثان، والبروبان، والببوتان، النافثا، ومتكثفات الغاز، الخ، لإنتاج الأوليفينات باستخدام الغاز كلقيم، كما يبين شكل (5) (5). تتم سلسلة

من العمليات الصناعية، وعمليات التبريد سواءً بالزيت و/أو الماء طبقاً لنوع اللقيم المستخدم (غاز / سائل)، وطبقاً لسلسلة المنتجات النهائية التي يتم إنتاجها (أوليفينات / وقود بترولي) (6,3).

شكل (5): مخطط مبسط لمفاعل فرن الانحلال الحراري لإنتاج الأوليفينات باستخدام الغاز كالقيم



المصدر : Petroleum Refining and Petrochemical Processes, Production of Olefins – Steam Cracking of hydrocarbons.

3.3.1. مياه التبريد

تُنتج مصانع البتروكيماويات منتج وحيد، أو منتجات متعددة ولكنها قد تشترك إلى حد ما في البنية التحتية لمياه التبريد، أو قد يكون لها مستوى من التكامل الحراري. تُستخدم كميات كبيرة من المياه في عمليات التبريد في صناعة البتروكيماويات، ويجب ألا تحتوي هذه المياه على نسب مرتفعة من المواد العالقة، أو كميات غير مرغوب فيها من القشور، وألا تكون لها قدرة كبيرة على حدوث عمليات التآكل. يعتمد استخدام مياه التبريد في إنتاج البتروكيماويات كثيرا على نوع المنتجات، وعمليات الإنتاج، وكفاءة العمليات الإنتاجية ونظام التبريد (أو التكامل الحراري) داخل المجمع، لذا يجب ألا يقتصر وصف دور المياه في عمليات التبريد على مفهوم التبريد فقط، ويجب الأخذ في الاعتبار العديد من المفاهيم الأخرى مثل:

1. استخدام مياه التبريد مسألة معقدة ولا يمكن حصرها فقط في مفهوم كمية المياه / طن منتج (طن/م³).
2. مياه التبريد تعتمد على تكنولوجيا الإنتاج المركبة، وتصميمات نظام التبريد، والتكامل الحراري.
3. يمكن أن يختلف مفهوم عمليات التبريد كثيرا تبعا للموقع الجغرافي للموقع.
4. تقدير كميات مياه التبريد على أساس الطاقة الإنتاجية للمصنع هو نهج عام لا ينطبق بالضرورة على كل موقع، ومن المحتمل وجود مجموعة كبيرة من الاختلافات في تقدير كميات المياه بين المواقع (28٠8).

1.3.3.1. أنواع أنظمة التبريد

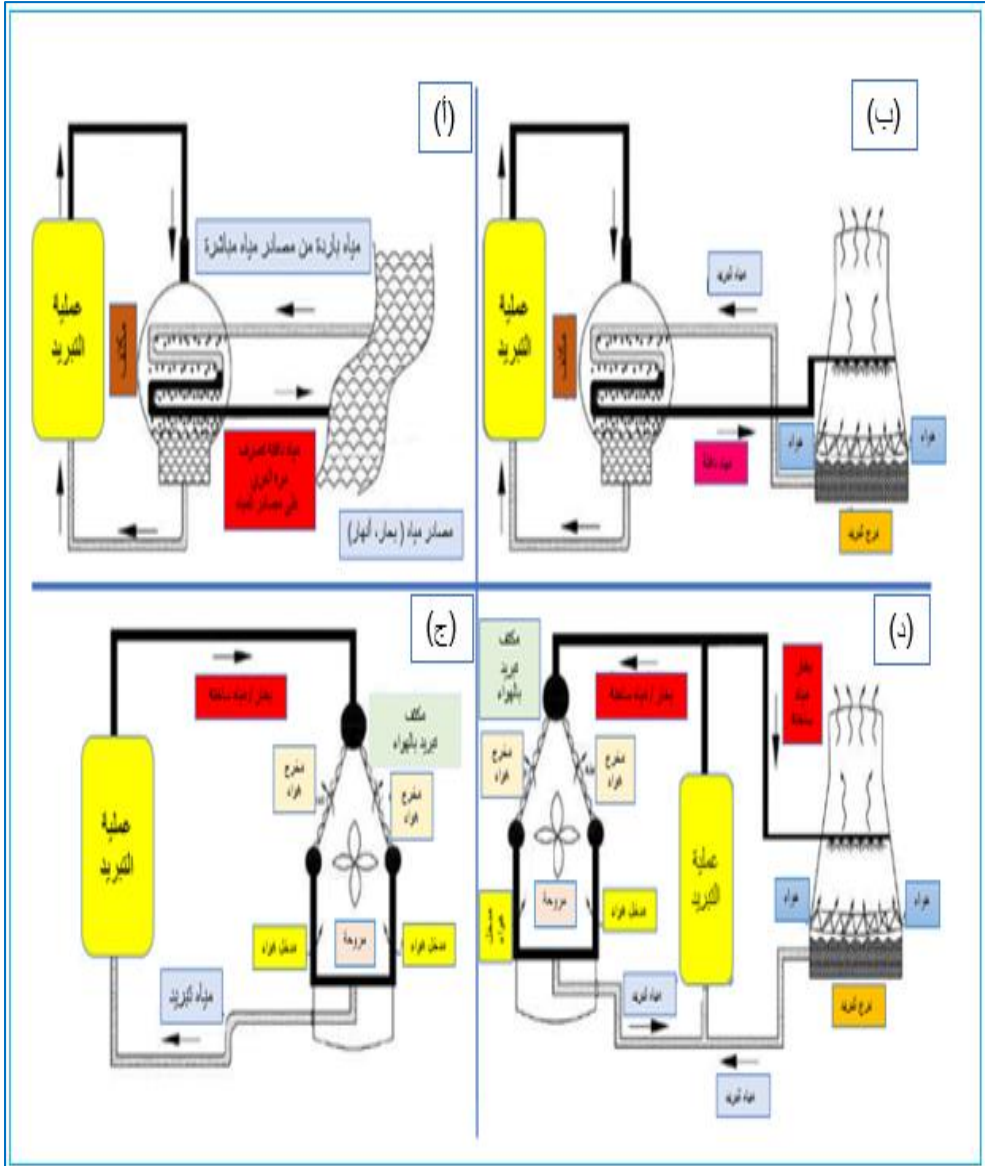
يتميز نظام التبريد بثلاثة أنواع رئيسية: التبريد مرة واحدة، أبراج التبريد "الرطب"، والتبريد الجاف، بالإضافة إلى نظام هجين بين الرطب والجاف " لا يستخدم نظام التبريد الهجين في الوقت الراهن بشكل كبير"، يبين شكل (6) أنواع أنظمة التبريد المختلفة.

يمثل **شكل (أ) من شكل (6)**، نظام التبريد للمرة الواحدة، وفيه تستخدم كميات ضخمة من المياه مرة واحدة وتصرف "تهدر" مرة أخرى إلى مصادرها الطبيعية (بحار، أنهار) **(7،2)**، في هذه الحالة قد لا نحتاج إلى أي عمليات معالجة لمياه الصرف الصناعي، أو قد يلزم فقط المعالجة بالكلور، أو المعالجة الحمضية، وذلك لتخفيف عسر البيكربونات **(20)**.

يمثل **شكل (ب) من شكل (6)**، نظام التبريد بالتدوير عدة مرات، حيث تستخدم أبراج تبريد مختلفة لتصريف الحرارة الزائدة إلى الجو، وهذا النظام يحتاج إلى العديد من عمليات الغسيل، والتنظيف لمنع تراكم الأملاح، والتراكم البيولوجي **(7،2)**، ولمنع تكون وتشكل القشور والناميات العضوية "Microbiological growth". قد تتم المعالجة بطريقة الكلس الباردة "Cold lime soda process"، أو طريقة الكلس الباردة وتبادل الكاتيونات، أو طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم، أو بالطريقة الحمضية **(20)**.

يمثل **شكل (ج) من شكل (6)**، نظام التبريد الجاف وفيه لا يتم استخدام المياه، بل يتم تبريد البخار بواسطة تيارات الهواء الناتجة عن المرواح المستخدمة. يمثل **شكل (د) من شكل (6)**، نظام التبريد الهجين، حيث يكون نظام التبريد مزيج من نظام التبريد الرطب، ونظام التبريد الجاف. تختلف كميات ومتطلبات المياه المستهلكة طبقاً لنوع نظام التبريد. يبين **الجدول (8)** مقارنة بين الأنواع المختلفة لأنظمة التبريد **(7،11)**.

شكل (6): أنواع أنظمة التبريد المختلفة



المصدر: Development of a Zero Liquid Discharge Approach for Cooling Tower Blowdown in Petrochemical Industry, Asian Institute of Technology School of Environment, Resources and Development, Thailand, May 2014

جدول (8): مقارنة بين الأنواع المختلفة لأنظمة التبريد

نوع نظام التبريد	التبريد لمرة واحدة Once-through	أبراج التبريد Cooling tower	التبريد الجاف Dry cooling	التبريد الهجين Hybrid cooling
ألية عملية التبريد	<ul style="list-style-type: none"> • سحب المياه من المصادر السطحية للمياه. • تصريف المياه الدافئة (مياه الصرف الصناعي) مباشرة إلى مصادرها. 	<ul style="list-style-type: none"> • تمرر المياه في المكثفات لخفض درجات الحرارة بها. • يعاد مرور مياه ذات درجة حرارة منخفضة إلى المكثفات مرة أخرى. 	<ul style="list-style-type: none"> • لا تستخدم المياه في عمليات التبريد. • يعتمد التبريد على الهواء في درجات الحرارة العادية، والناجمة عن تيارات هواء مراوح التبريد. • يتكثف البخار على هيئة مياه سائلة. 	<ul style="list-style-type: none"> • نظام هجين، مزيج بين نظام التبريد الرطب والتبريد الجاف. • يمكن تشغيل النظامين لزيادة كفاءة التبريد.
المميزات	<ul style="list-style-type: none"> • نظام تبريد بسيط. • تكلفة منخفضة. 	<ul style="list-style-type: none"> • نظام دائرة مغلقة لعملية التبريد. • عمليات نقل للحرارات المرتفعة (خفض درجات الحرارة العالية). 	<ul style="list-style-type: none"> • لا يوجد استهلاكات للمياه. 	<ul style="list-style-type: none"> • كفاءة تبريد عالية. • استثمارات منخفضة من المياه والطاقة. • مساحات صغيرة لتشغيل نظام التبريد.
العيوب	<ul style="list-style-type: none"> • تؤثر على الحياة المائية والنظام البيئي. • حدوث عمليات تآكل. • تكون ترسبات وقشور. • ملوثات بيولوجية. 	<ul style="list-style-type: none"> • تكلفة مرتفعة لارتفاع تركيزات المواد الصلبة الذائبة، نتيجة عمليات البخار. • عمليات تآكل، وتكون ترسبات نتيجة الحرارة المرتفعة. 	<ul style="list-style-type: none"> • تكلفة مرتفعة. • كفاءة تبريد منخفضة. 	<ul style="list-style-type: none"> • تكلفة مرتفعة للغاية.
كمية المياه المتصرفة	كبيرة	متوسطة	لا يوجد	متوسطة
*استهلاكات المياه	منخفضة	كبيرة	لا يوجد	كبيرة
*فقد المياه نتيجة البخار، والتدفق				

المصدر: Development of a Zero Liquid Discharge Approach for Cooling Tower Blowdown in Petrochemical Industry, Asian Institute of Technology School of Environment, Resources and Development, Thailand, May 2014

2.3.3.1. أبراج التبريد

تحتاج صناعة البتروكيماويات إلى نظام تبريد "Cooling System"، يعمل على خفض درجة الحرارة طبقاً لنوع نظام التبريد المركب بالمصنع. تعد أبراج التبريد أحد الأنظمة الفعالة للتخلص من الحرارة الناتجة، والتي تعمل على نقل الحرارة إلى الهواء المحيط بخفض درجة حرارة تيارات المياه، والتي تعمل كمبادل حراري لخفض درجات الحرارة الناتجة عن مختلف العمليات الصناعية.

يتم امتزاز الحرارة الناتجة بواسطة تيارات المياه ثم يتم خفض درجة حرارة المياه بتمريرها من خلال نظام التبريد الملحق ضمن وحدات المرافق الرئيسية بالمصنع، ثم يعود الماء المبرد مرة أخرى لامتزاز الحرارة الناتجة عن العمليات التشغيلية، وينتج عن عمليات التبريد بخار لكميات من مياه التبريد المستخدمة، مما يؤدي إلى ارتفاع نسب الأملاح المعدنية في مياه التبريد، ومع زيادة نسب الأملاح عن معدلات الذوبانية للمياه، يحدث تلوث للمياه، وتتكون القشور على أسطح المبادلات الحرارية، لذا فلا بد من التحكم في مستويات ونسب المواد الصلبة الذائبة (الأملاح المعدنية)، وذلك بتفوير "سحب/ هدر" كمية من المياه وتعويضها بكميات مناسبة من مياه التعويض (التغذية).

يمكن إعادة تمرير مياه التبريد لعدد من المرات في أبراج التبريد، أو ما يطلق عليها "دورات التركيز"، مع مراعاة النسب المسموح بها من الملوثات، والأملاح المعدنية، ومعها أيضاً يجب تفوير جزء من المياه، وتجديدها بكميات أخرى من مياه التغذية.

يطلق مصطلح "التفوير" على كميات المياه التي يتم سحبها (تفريغها) من نظام التبريد لخفض معدلات تلوث المياه، بالإضافة إلى عمليات التفوير تلجأ المصانع إلى إضافة بعض أنواع من الكيماويات المستخدمة للتحكم في خفض معدلات نمو الكائنات الحية الدقيقة، ومنع التآكل، وزيادة القدرة على ذوبانية الأملاح المعدنية، ذلك بهدف الاستغلال الأمثل لمياه التغذية،

الجدول (9) الكيماويات المستخدمة لضبط خواص المياه في أبراج التبريد (30).

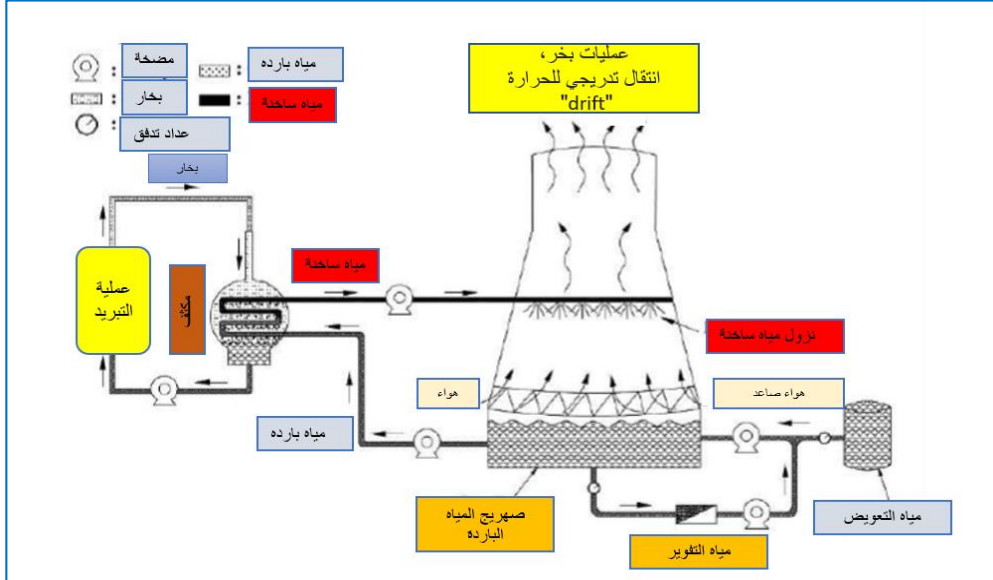
يعد الموليبيدينوم (Mo) أحد الكيماويات الشائع استخدامها، كمثبطات للتآكل، وفي كثير من الأحيان يتم استخدام الموليبيدينوم جنباً إلى جنب مع مثبطات تآكل أخرى، مثل بعض مركبات الفوسفات العضوية، والأزولات العطرية. هذا ويحظر استخدام الموليبيدينوم في حال تصريف مياه التفوير على المصارف أو المجاري الصحية⁽³⁰⁾، يبين شكل (7) مخطط مبسط لشرح آليات عمليات التبريد المختلفة باستخدام أبراج التبريد⁽⁷⁾، بينما يبين شكل (8) بعض مكونات أبراج التبريد.

جدول (9): الكيماويات المستخدمة لضبط خواص المياه في أبراج التبريد

نوع الكيماويات	الاستخدامات	التطبيق	الحد الأقصى للتركيزات
• فوسفات عضوي	• التحكم في تكون القشور	• باستمرار	20 ملغرام/ ليتر
• أورثوفوسفات	• التحكم في تكون القشور • مثبط تآكل	• باستمرار	20 ملغرام/ ليتر
• سيليكات الصوديوم	• مثبط تآكل	• باستمرار	150 ملغرام/ ليتر
• أزولات عطرية	• مثبط تآكل	• باستمرار	1-4 ملغرام / ليتر
• موليبيدينوم	• كاشف، ومثبط التآكل	• باستمرار	5-10 ملغرام / ليتر
• كلور	• مثبط نمو الكائنات الحية الدقيقة	• باستمرار، أو على جرعات	0.5 ملغرام / ليتر
• بروم	• مثبط نمو الكائنات الحية الدقيقة	• باستمرار، أو على جرعات	0.2 ملغرام / ليتر

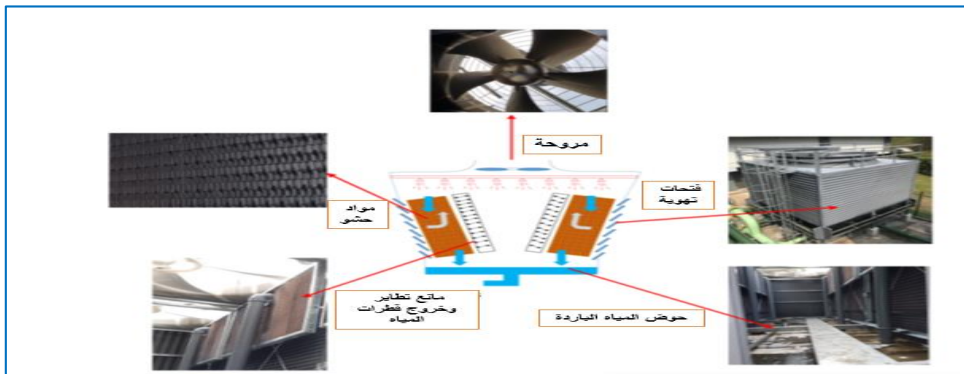
المصدر: Best Management practice and Guidance Manual for Cooling Towers, Prepared by JEA for the control of pollutants discharged to the sanitary collection system, August, 2005.

شكل (7): شرح مخطط مبسط لآليات عملية التبريد باستخدام أبراج التبريد



المصدر: Geo- Pilot project on availability, use and sustainability of water production of nuclear and fossil energy – localized inventory of water use in cooling processes, assessment of vulnerability and of water use management measures, End Report, the European Commission Directorate General Environment ,2014.

شكل (8): بعض مكونات أبراج التبريد



المصدر: Technical Reference for Water Conservation in Cooling Towers, 1 st Edition, Nov 2017, Singapore's National Water Agency.

1.2.3.3.1. تقديرات كميات مياه التبريد في العمليات الصناعية

يعتمد تقدير كميات المياه المستخدمة في العمليات الصناعية على عدد من المحددات وأهمها، متطلبات كميات مياه التبريد لعملية الإنتاج، افتراضيات استخدام نظام التبريد الرطب، مرات إعادة تدوير مياه التبريد والتي تتراوح ما بين 3 إلى 7 دورات، كميات البخار، والطاقة الإنتاجية السنوية للمنتج النهائي (8,10). يبين الجدول (10) تقديرات استخدام مياه التبريد لإنتاج الأمونيا، والإيثيلين، والهيدروجين (8). تقدير كميات مياه التبريد اللازمة للعمليات الإنتاجية يتم طبقاً لنوع العملية الإنتاجية والمنتج النهائي، حيث تقدر كميات مياه التبريد اللازمة للإنتاج طن من الإيثيلين بالتكسير بالبخار للنافثا بنحو 200 م³، وتبلغ أيضاً حوالي 200 م³ لإنتاج طن من الأمونيا، فيما تبلغ نحو 2000 م³ لإنتاج طن من الهيدروجين (7).

جدول (10): تقديرات استخدام مياه التبريد لإنتاج الأمونيا والإيثيلين والهيدروجين

المنتج	معدل كميات مياه التبريد (م ³ /طن)	عدد دورات إعادة التدوير لمياه التبريد	معدل مأخذ كميات المياه (م ³ /طن)	نسبة استهلاكات مياه التبريد	معدل كميات استهلاكات مياه التبريد (م ³ /طن)	معدل تصريف مياه التبريد (م ³ /طن)
أمونيا	200	7-3	67-29	%2	4	63-25
إيثيلين	200	7-3	67-29	%2	4	63-25
هيدروجين	2000	7-3	667-286	%2	40	627-246

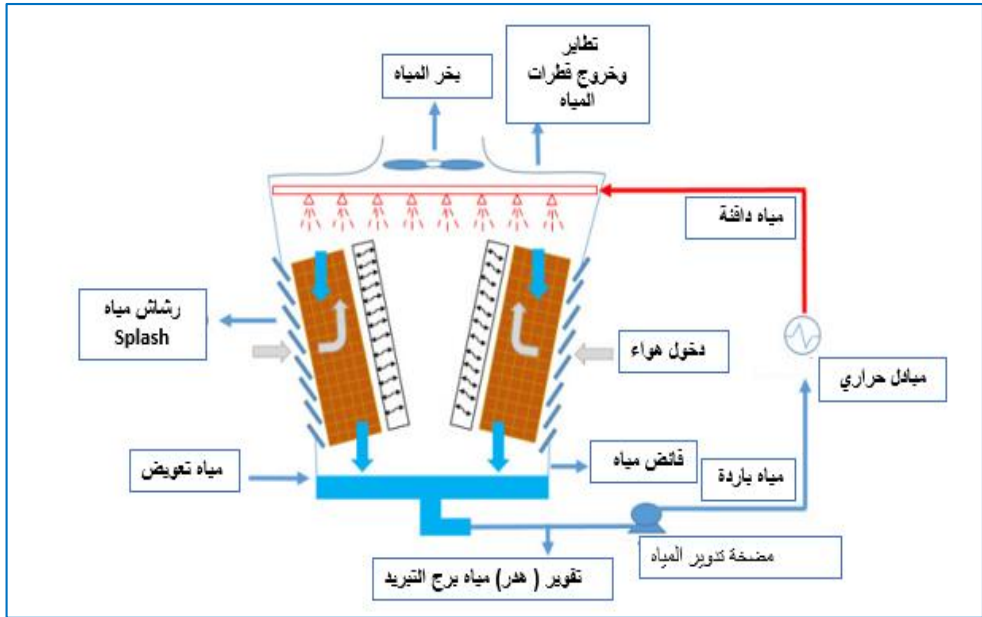
المصدر:- Pilot project on availability, use and sustainability of water production of nuclear and fossil energy – Geo-localized inventory of water use in cooling processes, assessment of vulnerability and of water use management measures, End Report, the European Commission Directorate General Environment ,2014.

1.2.2.3.3.1. الاتزان المائي

الاتزان "التوازن" المائي "Water Balance" لبرج التبريد يشمل جميع مدخلات، ومخرجات المياه المرتبطة بتشغيل النظام. تشمل مخرجات المياه التحكم في عوامل فقد المياه، مثل البخار، والهدر "التفوير"، والانجراف "تطاير"، وخروج قطرات المياه"، وتسرب

المضخات، أو أيه مصادر ومسببات لفقد المياه غير خاضعة للتحكم، مثل طفق المياه "Overflow". يتم تعويض كافة أسباب نقص أو فقد المياه عن طريق إمدادات مياه التغذية "التعويض". يبين شكل (9) مخطط مبسط للاتزان المائي في أبراج التبريد (29).

شكل (9): مخطط مبسط للاتزان المائي في أبراج التبريد



المصدر: Technical Reference for Water Conservation in Cooling Towers, 1st Edition, Nov 2017, Singapore's National Water Agency.

يعد الاتزان المائي الطريقة الأساسية والرئيسية لتحديد كميات ونسب البخار الناتج عن خفض حرارة مياه التبريد، حيث أن خفض درجة حرارة مياه برج التبريد بمقدار 1° ف، يلزم له بخار يقدر بنحو 0.1% من كميات المياه التي يتم تدويرها، وهو ما يعادل 1% من المياه لكل 10° ف. فمثلاً إذا فرض أن معدل دوران مياه برج التبريد يبلغ 1000 جالون/ دقيقة، ويلزم خفض درجة حرارة مياه التبريد بمقدار 10° ف "من 90° ف إلى 80° ف"، فإن معدل بخار مياه برج التبريد يمكن حسابها من خلال المعادلة التالية:

"معدل البخر = 1000 جالون/ دقيقة X (90°ف-80°ف) X 0.001 = 10 جالون/دقيقة"
(28*18). يبين الجدول (11) معدل كميات بخر مياه أبراج التبريد لكل 10°ف.

جدول (11): معدل كميات بخر مياه أبراج التبريد لكل 10°ف

معدل بخر مياه التبريد (جالون)			خفض درجات الحرارة °ف
لكل سنة	لكل يوم	لكل دقيقة	
5,265,000	14,400	10 ج	10
10,512,000	28,80	20 ج	20
15,678,000	43,20	30 ج	30

*يعمل نظام التبريد 24 س/ي، لمدة 365 ي/س، بمعدل 1000 ج/د.

المصدر: Cooling Towers, Continuing Education and Development, Inc.

يساهم الاتزان المائي في تحديد، وكشف التلوث أو الترسبات الحادثة، بالإضافة إلى تحديد مدى الحاجة إلى إضافة كيماويات معالجة المياه. يتم تقييم كفاءة أبراج التبريد عن طريق مقارنة تركيزات المواد الصلبة الذائبة في مياه التعويض، إلى نسبة تواجدتها في مياه التفوير لبرج التبريد (28).

3.2.3.3.1 دورات التركيز

دورات التركيز "Cycles of Concentration -COC"، كما يطلق عليها أيضاً معدل التركيز "Concentration Ratio" هي علاقة بين تركيز المواد الصلبة الذائبة (كلوريدات، وكبريتات) في مياه التفوير إلى نسبتها في مياه التعويض "التغذية"، وهي طريقة لتحديد عدد دورات مياه التبريد المثالية (28). تتفاوت معدلات دورات تركيز المياه طبقاً لنظام التبريد المركب، وتحدد بعدد مرات مرور مياه التبريد خلال المبادلات الحرارية. لذا فإن العدد (1) يشير إلى أن المياه تستخدم لمرة واحدة ثم يهدر، بينما العدد (10) يشير إلى نظام تبريد عالي لإعادة تدوير واستخدام المياه (8). يعد زيادة عدد مرات دورات التركيز هو النظام الأمثل والأكثر شيوعاً للحفاظ على مياه تبريد الأبراج. إن تحديد القيمة المثلى لعدد دورات التركيز

للمياه ليس بالأمر السهل، إذ لابد من الحفاظ على التوازن بين خفض تكاليف الكيماويات المستخدمة في عمليات المعالجة، والمياه، والصرف مقابل تكون الرواسب. عادة ما يتم تغذية الأبراج بمياه تغذية تحتوي على أقل تركيز ممكن من المواد الصلبة لضمان أكبر عدد من دورات التركيز، وإذا لم يكن عدد دورات التركيز معلوماً، فإن خمس دورات تركيز تعد هي القيمة الافتراضية المناسبة (28). يجب الأخذ في الاعتبار بأن زيادة عدد دورات التركيز قد يخفض من تكاليف الكيماويات المستخدمة، وكمية مياه التبريد اللازمة، وكمية مياه الصرف، ولكنه في المقابل يزيد من احتمالية زيادة مخاطر تكوين القشور، لذا فإن إحكام ومراقبة جودة مياه التبريد في الأبراج يصبح أكثر أهمية (28). يبين الجدول (12) العلاقة بين عدد دورات التركيز ونسبة الوفرة في مياه التبريد، بافتراض أن معدل تدوير المياه 1000 جالون/دقيقة، وأن مقدار خفض درجات الحرارة ثابت بقيمة 10 ° ف. ويبين الجدول أن زيادة عدد دورات التركيز "COC" يزيد من نسب المحافظة على المياه، وتصل إلى 44.5 % في حال أن عدد دورات التركيز بلغ "10"، بينما لا يتم وفر أي كميات من المياه حال أن عدد الدورات "2" فيما أقل (28).

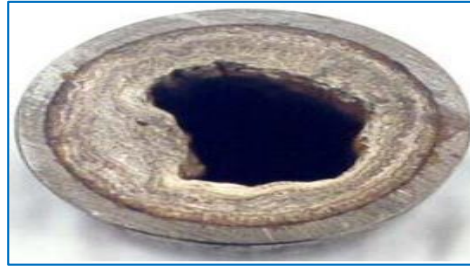
جدول (12): العلاقة بين عدد دورات التركيز ونسب الوفرة في مياه التبريد

تركيز الدورات COC	معدل البخر 1% @ مدى 10 ° ف (جالون / دقيقة)	معدل التفوير (معدل البخر ÷ تركيز الدورات-1) (جالون/دقيقة)	كمية المياه المضافة إلى نظام التبريد (جالون) (جالون/ الدقيقة)			% الوفرة في المياه
			لكل دقيقة	لكل يوم	لكل سنة	
2	10	10 ج/د	20	28,800	150,512,000	0
4	10	3.3 ج/د	13.33	19,152	6,990,480	33.5 %
6	10	2.0 ج/د	12	17,280	6,207,200	41 %
10	10	1.11 ج/د	11.1	15,984	5,834,160	44.5 %

المصدر: Cooling Towers, Continuing Education and Development, Inc.

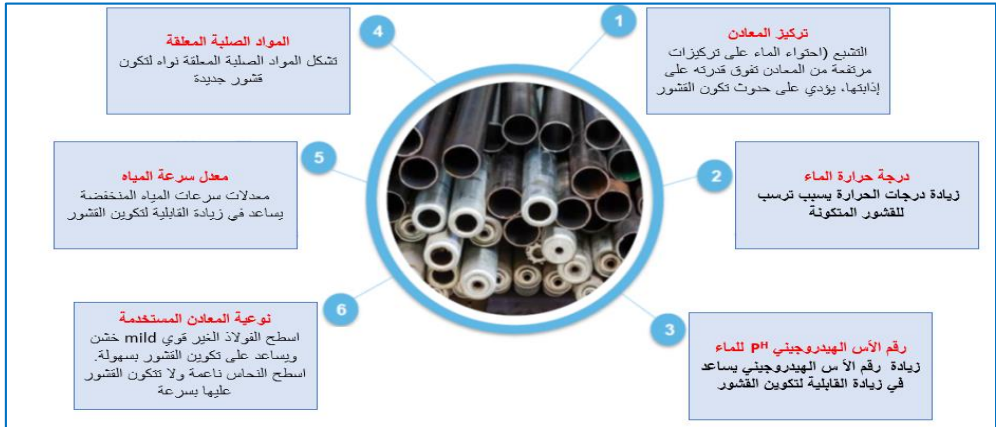
تتسبب عمليات بخر مياه التبريد في زيادة تركيز المواد الصلبة الذائبة (TDS)، وفي بعض النقاط يتجاوز تركيز المواد الصلبة الذائبة حد الذوبان المسموح به، مكوناً ترسبات وقشور غير مرغوب بها، كما هو مبين في شكل (10)، كما يلعب تركيز المعادن، ودرجة حرارة الماء، ورقم الأس الهيدروجيني، وتركيز المواد الصلبة العالقة، ومعدلات سريان المياه، بالإضافة إلى نوع المعادن المستخدمة في تصنيع الأجزاء الداخلية دوراً هاماً في تكون القشور والترسبات، كما يبين شكل (11) (19).

شكل (10): تكون ترسبات وقشور في نظام التبريد



المصدر: 2008, Cooling Water Management Basic Principles and Technology

شكل (11): العوامل المؤثرة والمساعدة على تكون القشور والترسبات



المصدر: Learning the Way Water Is Managed, Water Introduction, NILCO Water

يعمل تراكم القشور و الترسبات على تكون طبقة تقلل من كفاءة وقدرة المياه على التبريد ونقل الحرارة الناتجة عن العمليات الصناعية، فمثلاً إذا كان سمك طبقة القشور المتكونة من كربونات الكالسيوم 1.5 مل، تعمل هذه الطبقة على خفض الكفاءة الحرارية "Thermal Efficiency" بنحو 12.5 % (17)، كما يعمل تكون القشور على انسداد أنابيب ومعدات أبراج التبريد، وهو ما يعمل على زيادة استهلاكات كميات الطاقة اللازمة، كما يحدث تآكل للمعادن المكونة للمبادلات الحرارية والمكثفات، وهو ما قد يؤدي إلى خفض معدلات الإنتاج، وتأخر الجدول الزمني للإنتاج، وزيادة الوقت اللازم لأعمال الصيانة، بالإضافة إلى زيادة تكلفة الإصلاح والاستبدال للمعدات، كما يمكن أن يؤدي إلى توقف الإنتاج (19).

هناك طرق رئيسية تسهم في منع تكون القشور، والتحكم فيها عن طريق خفض تركيزات المعادن المكونة للقشور، إما بالمعالجة الأولية لمياه التعويض، أو بإضافة كيماويات كمثبطات، وموانع تكوين القشور. تعمل المثبطات بطريقتين، إما ألا تسمح بترسيب القشور وتجعلها عالقة في المياه، كما في شكل (12)، أو تسمح بترسيبها على شكل حماة غير ملتصقة يمكن إزالتها بطرق الترشيح المختلفة، كما تساهم زيادة سرعة دوران (مرور) المياه، وخفض درجات حرارة أسطح المعادن، وزيادة معدلات تقوير مياه أبراج التبريد في خفض معدلات تكون القشور والترسبات (18). يبين الجدول (13) الخواص القياسية لجودة مياه التبريد (30).

جدول (13): الخواص القياسية لجودة مياه التبريد

نوع المياه				الخاصية القياسية
عدد 4 دورة تركيز	عدد 3 دورة تركيز	عدد 2 دورة تركيز	مياه التعويض	
600	450	300	150	نسبة الكالسيوم ج.ف.م.
520	390	260	130	نسبة الكبريتات ج.ف.م.
440	330	220	110	القاعدية الكلية ج.ف.م.
120	90	60	30	نسبة السيليكا ج.ف.م.
2000	1500	1000	500	المواد الصلبة الكلية ج.ف.م.
8.8	8.6	8.2	7.8	رقم الأس الهيدروجيني
3.10	2.10	1.40	0.40	* مؤشر التشبع Langelier Saturation Index

* مؤشر التشبع: عبارة عن مؤشر لقياس احتمالية قدرة المياه على التسبب في عمليات التآكل، وتكون القشور. القيمة أقل من صفر تعني احتمالية عمليات التآكل، قيمة أعلى من صفر تعني احتمالية تكون القشور.

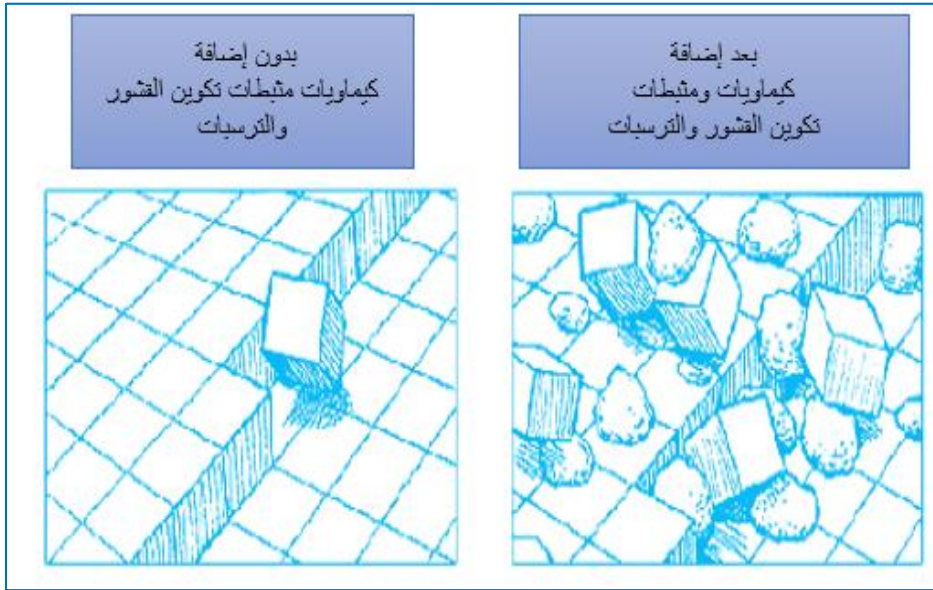
المصدر: Best Management practice and Guidance Manual for Cooling Towers, Prepared by JEA for the control of pollutants discharged to the sanitary collection system, August, 2005.

4.2.3.3.1. توفير مياه أبراج التبريد

يعتمد مقدار المياه المهدرة (توفير المياه) من برج التبريد على مقدار قساوة (عسر) مياه التبريد داخل الأبراج. للحفاظ على كفاءة مياه التبريد خلال عدد محدد من دورات التركيز، يجب أن يتم توفير (هدر) كميات محددة من المياه بمعدل منتظم، فإذا كان عدد دورات التركيز ثلاثة،

فإن ثلث مياه التبريد يتم سحبها (هدرها). بينما يتم هدر ربع كمية المياه في حالة أن عدد دورات التركيز "أربعة" (28). يتم خلال عملية توفير مياه أبراج التبريد Cooling Tower Blowdown (CTBD)، سحب كمية من مياه التبريد المحتوية على تركيزات مرتفعة من المواد الصلبة الذائبة، والعسر (الكالسيوم، والمغنسيوم)، وكيمائيات المعالجة للتحكم في معدلات التآكل (12).

الشكل (12): مخطط مبسط لميكانيكية عمل مثبطات تكوين القشور والترسبات



المصدر: Learning the Way Water Is Managed, Water Introduction, NILCO Water



الفصل الثاني

أنواع ملوثات مياه الصرف الصناعي وتقنيات المعالجة

الفصل الثاني

أنواع ملوثات مياه الصرف الصناعي وتقنيات المعالجة

تمهيد

تعتبر صناعة البتروكيماويات صناعة معقدة، ومتكاملة حيث تشمل العديد من العمليات الصناعية، والمنتجات، ويستخدم فيها أنواع مختلفة من المواد الأولية (اللقائم)، والعوامل الحفازة، والإضافات، والكيماويات، وتتم هذه العمليات في بيئة شديدة الخطورة قابلة للانفجار. من الممكن أن تتسبب هذه الصناعة في حدوث تلوث بيئي نتيجة هدر، وتصريف مياه الصرف الصناعي المحملة بالعديد من الملوثات الخطرة الناتجة عن تشغيل الوحدات الإنتاجية المختلفة، في حال عدم معالجتها وفق القوانين البيئية المنظمة. لذا فإنه بموجب القوانين والتشريعات البيئية الصارمة يتطلب من كل منشأة صناعية إنشاء وحدات، أو محطات لمعالجة مياه الصرف الصناعي، وعلى كل مصنع اختيار تصميمات، وتقنيات المعالجة طبقاً لمحددات تغيير بتغير المنتج، ومواصفات مياه الهدر وكمياتها، والغرض من إعادة استخدامها، بالإضافة إلى ضرورة اختيار أنسب طرق إدارتها. يتناول هذا الفصل شرح مبسط حول مصادر التلوث المحتملة، وتقنيات وطرق وأساليب عمل وحدات، ومحطات المعالجة المختلفة لمياه الصرف "المياه العادمة".

1.2. التلوث والملوثات

يعرف التلوث بأنه أي تغير فيزيائي، أو كيميائي، أو بيولوجي في نوعية المياه، ويؤثر سلباً على الكائنات الحية، أو يجعل المياه غير صالحة للاستخدامات المطلوبة. بينما تعرف الملوثات بحسب برنامج الأمم المتحدة للبيئة بأنها أي مادة فيزيائية، أو كيميائية، أو عضوية، أو إشعاعية موجودة في مياه الصرف وتعمل على تدني جودة أو نوعية هذه المياه، وتشكل خطورة تمنع الاستفادة منها.

التغير الفيزيائي: تشمل التغيرات التي تحدث لخواص لمياه وتشمل التغيرات التي تطرأ على المياه من حيث اللون، والطعم والرائحة، والتوصيل الكهربائي، والقساوة، ودرجة الحرارة، العكارة، والمواد العالقة.

التغير البيولوجي: تشمل طبيعة وعدد الكائنات الحية الدقيقة مثل البكتيريا، والطفيليات، والفطريات، والفيروسات التي يمكن أن تتواجد فيها.

التغير الكيميائي: تشمل تغير التركيب الكيميائي، وطبيعة وتركيز المعادن، والشوارد، والأملاح، ورقم الأس الهيدروجيني (PH)، والقلوية، وغيرها من الخواص الكيميائية، والإشعاعية. تتصف مياه الصرف الصناعي بأنها مصدر من مصادر التلوث الذي يشكل خطراً على الصحة العامة، والبيئة بشكل عام لاحتوائها على العديد من الملوثات الفيزيائية، والكيميائية، والبيولوجية "حيوية". يبين (الجدول 14) أهم ملوثات مياه الصرف الصناعي (14).

جدول (14): أهم الملوثات في مياه الصرف الصناعي

الملوثات	أهميتها
المواد العالقة	تسبب زيادة ترسيبات الحمأة وتكوين ظروف لاهوائية في المياه عند صرفها
المواد المغذية	مثل النيتروجين، والفوسفات، وتؤدي إلى نمو كائنات مائية غير مرغوب فيها
الملوثات ذات الأهمية القصوى	مركبات عضوية وغير عضوية مسرطنة وذات سمية مرتفعة
المواد العضوية صعبة التحلل	مواد لها القدرة على مقاومة طرق المعالجة التقليدية مثل المنظفات الصناعية، والفينولات
المعادن الثقيلة	نواتج العمليات الصناعية المختلفة
الأملاح غير العضوية الذائبة	أملاح الصوديوم، والكالسيوم، والكبريتات

المصدر: أحمد السروي- معالجة مياه الصرف الصناعي- دار الكتب العلمية

2.2. تصنيف المخلفات السائلة

يعتمد تصنيف المخلفات السائلة على مكونات نظام الصرف المراد طرحها (صرفها) فيه، ومدى ما يتوفر فيه من نظم المعالجة الحديثة، أو وجود وحدات معالجة نوعية كيميائية-فيزيائية مستقلة تعمل على ضبط رقم الأس الهيدروجيني "PH" للمياه، وإمكانية إضافة بعض المركبات الكيميائية لإزالة بعض المواد اللاعضوية. يساعد تصنيف المخلفات السائلة كخطوة أولى في إعداد الدراسات البيئية الأولية، وحصر الملوثات المتوقع مواجهتها في المنشأة، وهو الخطوة الأهم في الإدارة البيئية، كما يساعد في اختيار أساليب، ومستويات عمليات المعالجة اللازمة.

يستند اختيار تكنولوجيا التحكم والمعالجة على تحديد نوع ونسب تلك الملوثات، ويساعد في تحديد طرق، وأساليب، ومستوي، المعالجة من خلال إعداد تصميمات مزيج مثالي من التقنيات المتكاملة. ويستند هذا المزيج من التكنولوجيا في المقام الأول إلى خفض نسب الأكسجين الحيوي الممتص، والأكسجين الكيميائي المستهلك (15).

1.2.2. المخلفات المتوافقة بيئياً

هي المواد التي يمكن إزالتها أو التخلص منها باستخدام تقنيات المعالجة اللازمة للمياه العادمة، مع الأخذ في الاعتبار وجود اختلافات في تركيز المخلفات طبقاً لنوع الصناعة، وتتضمن المعالجة الأولية عادة عمليات تصفية خشنة وترسيب، وتتبعها معالجة بالحمأة المنشطة والفلاتر، ويمكن أن تتضمن أيضاً عمليات بيولوجية هوائية أخرى تهدف إلى أكسدة وإتلاف الجزء الأكبر من المواد العضوية. يقاس نجاح عمليات المعالجة ويعبر عنها عادة بمدى نجاح عمليات المعالجة في خفض قيم الأكسجين الحيوي الممتص، والأكسجين الكيميائي المستهلك.

2.2.2. المخلفات غير المتوافقة بيئياً

تحتوي المخلفات السائلة على كثير من الملوثات التي لا تتوافق مع طرق المعالجة السابقة لكونها تؤثر على آليات عمل المعالجة الحيوية (البيولوجية)، كأن تحتوي على مواد سامة تحد

أو تقضي على الكائنات الحية التي تقوم بالعملية البيولوجية، مثل السيانيد، والمعادن الثقيلة، والزيوت والشحوم البترولية. عند تواجد هذه المخلفات بتركيز منخفضة لا تؤثر ولا تتأثر بعملية المعالجة وإنما تمر من خلال محطة المعالجة دون تغيير، بالإضافة إلى الملوثات السابقة هناك مواد خطيرة يحظر دخولها نهائياً إلى شبكة الصرف الصحي مثل المواد القابلة للاشتعال والانفجار، والنفايات الأكلة "corrosive waste"، والمواد الصلبة أو اللزجة التي قد تسبب حدوث الانسدادات (14، 15).

3.2.2. القوانين والتشريعات البيئية

سنت الدول العديد من التشريعات، والقوانين البيئية الصارمة التي تلزم المصانع بضرورة توفير محطات معالجة مياه الصرف الصناعي من أجل حماية البيئة المحيطة ومصادر المياه الجوفية والسطحية. ولم تعد محطة معالجة الصرف الصناعي أمر ثانوياً أو كمالياً، بل أصبحت حاجة ملحة وضرورية للصناعات التي تنتج وتصرف مياه صناعية ملوثة. يبين الجدول (15) التركيز الأقصى لقائمة المواد السامة، والخطرة الناتجة من مياه الصرف الصناعي، والمحظور صرفها على نظام الصرف الصحي لولاية كاليفورنيا (32).

جدول (15): التركيز الأقصى لقائمة المواد السامة، والخطرة الناتجة من مياه الصرف الصناعي، المحظور صرفها على نظام الصرف الصحي لولاية كاليفورنيا

نوع الملوث	التركيز الأقصى المسموح به (ملغم / لتر)
الأنثيمون	0.5
زرنيخ	1.0
باريوم	0.75
كادميوم	0.7
كروم الكلي	1.0
نحاس	2.7
سيانيد	0.5
حديد	0.4
منجنيز	35.0
زئبق	0.01
نيكل	2.6
فينول، ومشتقاته	30.0
سيلينوم	2.0
فضة	0.7
زايلين	1.5
زنك	2.6

المصدر: Guidelines for Managing Water in Cooling Systems, For Owners, Operators, and Environmental Managers.

3.2. نواتج عمليات التكسير بالبخار

تستخدم مياه العمليات في وحدة التكسير بالبخار لإنتاج بخار التخفيف اللازم لتحسين انتقائية التفاعل لإنتاج الأوليفينات المطلوبة. وتنتج وحدات التكسير بالبخار أنواع مختلفة من المخلفات السائلة، تشمل على المياه العادمة الناتجة عن عميات التبريد أو الغلايات، ونواتج مياه عمليات وحدة منع التفحم. قد تحتوي هذه المياه العادمة على نسبة من الفينولات، أو الهيدروكربونات الذائبة أو العالقة، كما تعد المياه الزيتية أحد أهم المخلفات السائلة الناتجة عن وحدات التكسير، بالإضافة إلى مخلفات الصودا الكاوية السائلة والتي تعد من المخلفات السائلة.

تستخدم الصودا الكاوية للتخلص من الغازات الحامضية (ثاني أكسيد الكربون، الميركابتانات، كبريتيد الهيدروجين)، الناتجة عن العمليات الإنتاجية، ويرتبط حجم الصودا الكاوية المستهلكة مباشرة بمحتوى الكبريت في المواد الخام الأولية (اللقيم) المستخدمة، كما يعتمد أيضاً على معدلات تشغيل برج الصودا الكاوية. تحتوي نواتج مخلفات الصودا الكاوية على كبريتيدات، فينولات، ونسب مرتفعة من طلب الأكسجين الكيميائي الحيوي أو ما يعرف أيضاً بالأكسجين الحيوي الممتص "BOD"، وطلب الأكسجين الكيميائي أو ما يطلق عليه أيضاً الأكسجين الكيميائي المستهلك "COD"، مواد صلبة عالقة، ومواد بترولية (13).

في حالة ما إذا كان اللقيم المستخدم هو النافثا لإنتاج الأوليفينات فإن نسبة طلب الأكسجين الكيميائي في نواتج سوائل الصودا الكاوية تتراوح ما بين 20-50 غرام /لتر، في حين تتراوح نسب الملوثات الأخرى من هيدروكسيد الصوديوم نحو (0.5 – 5.0 % بالوزن)، و كبريتيد الصوديوم نحو (0.5 – 5.0 % بالوزن)، و كربونات الصوديوم حوالي (0.5 – 10 % بالوزن)، و هيدروكربونات ذائبة نحو (0.1 – 0.3 % بالوزن)، وبنزين عطري بنسب تصل إلى 100-900 ج.ف.م، و هيدروكربونات سائلة مثل الفينول، والكريزولات، بالإضافة إلى نسب ضئيلة من مركبات السيانييد، ومركبات المركبتان.

4.2. نواتج وحدات إنتاج العطريات

تستخدم المياه في وحدات إنتاج العطريات في دوائر مغلقة، وذلك لاسترداد كميات المذيبات المتبقية المنخفضة في الرافينات، كما تستخدم في فصل العطريات الثقيلة عن المذيبات في أبراج الفصل والتي تتواجد بنسب صغيرة. هذا وتحتوي مياه الصرف الصناعي على أنواع متعددة ومختلفة من الملوثات العضوية وغير العضوية. يبين الجدول (16) ملخص أهم أنواع الملوثات الناتجة عن وحدات التكسير بالبخار، ووحدات إنتاج العطريات (13).

جدول (16): ملخص أهم أنواع الملوثات الناتجة عن وحدات التكسير بالبخار

وحدات إنتاج العطريات

الوحدة الإنتاجية بمصنع البتروكيماويات	أنواع الملوثات البيئية ومياه الصرف الصناعي
التكسير بالبخار	الكبريتيدات غير العضوية، الميركانتات، الهيدروكربونات القابلة للذوبان، مونوميرات، مركبات فينولية، كبريتيد، سيانيد، زيوت ثقيلة، فحم الكوك، مواد كاوية، أكاسيد النيتروجين، أكاسيد الكبريت، هيدروكربونات، جزئيات، ملوثات مائية (طلب الأكسجين الكيميائي الحيوي BOD، وطلب الأكسجين الكيميائي COD)، مواد صلبة عالقة، مواد بترولية.
إنتاج العطريات	مواد عضوية ذائبة، مركبات عضوية متطايرة، معادن ثقيلة، هيدروكربونات، جسيمات، كبريتيد الهيدروجين، أكاسيد النيتروجين، أكاسيد الكبريت، ملوثات مائية (طلب الأكسجين الكيميائي الحيوي BOD، وطلب الأكسجين الكيميائي COD)، مواد صلبة عالقة، مواد بترولية، زيوت، تولوين، زيلين، بنزين عطري، حمض الهيدروكلوريك، الكلور، الكاديوم.

المصدر: Technical EIA Guidance Manual for Petrochemical Complexes, The Ministry of Environmental and Forests, India, 2010.

5.2. الطرق التقليدية لمعالجة المياه العادمة

محطات معالجة المياه العادمة ليست حديثة وإنما برزت الحاجة إليها منذ عقود طويلة. حيث أنشئت أنظمة الصرف الصحي وأنظمة المعالجة وصدرت التشريعات البيئية اللازمة لحماية الصحة العامة خلال القرن التاسع عشر بسبب الصرف المستمر للمياه الملوثة الخام في

المسطحات المائية، والبحار، والأنهار، وإلى الأراضي، مما أدى إلى انتشار التلوث بشدة وتدهورت الصحة العامة وتفشيت الأمراض.

ظهرت أول محطة معالجة في العالم عام 1885 في بريطانيا، ثم تبعتها الولايات المتحدة الأمريكية والتي تطورت فيها محطات المعالجة تباعا لما يلي:

1. تأسيس محطة تجريبية لوضع معايير مياه الصرف الصحي في ولاية ماساوستش عام 1866.
 2. إنشاء أول محطة معالجة بيولوجية بنظام الفلتر الرملي عام 1887.
 3. أنشئت أول محطة مرشحات بيولوجية عام 1901، واستخدمت طريقة المعالجة بنظام أحواض التهوية لأول مرة عام 1909.
 4. استخدم الكلور في عمليات تعقيم المياه عام 1914.
 5. أنشئت أول محطة تعمل بالحماة المنشطة عام 1916.
- ومع ازدياد مستويات المعالجة ظهرت الحاجة إلى المعالجة الإضافية للحماة والتخلص منها:
- تم استخدام طرق المعالجة بنظام الهضم الحراري المنفصل، والهضم الغازي عام 1920، وتم استخدام طرق المعالجة بنظام المرشحات الفراغية عام 1921.
 - تم استخدام طرق حرق الحماة عام 1930.
 - أصبحت تكنولوجيا معالجة مياه الصرف شائعة الاستخدام وصدرت التشريعات اللازمة لتصميمات محطات ووحدات المعالجة في الفترة 1935-1955.
 - ظهرت برك التثبيت، وخنادق الأكسدة، والبرك العادية، والتهوية المطولة، والتثبيت بالتلامس، والمرشحات ذات المعدل العالي والبطيء، كما ظهرت وحدات المعالجة المدمجة في الفترة 1940-1950.
 - تطورت طرق المعالجة واستخدام تكنولوجيا الطفو لفصل المواد الصلبة في الفترة 1950-1960.

- ظهرت برك التثبيت الموهوة، والأقراص البيولوجية الدوارة، والمعالجة الفيزيائية والكيميائية، والمناخل الميكروسكوبية، والهضم الهوائي للحمأة، وعمليات نزع الفوسفور والنيتروجين عام 1960.

- وضع التشريعات اللازمة لحماية المصادر المائية من التلوث عام 1965، وتم وضع معايير خاصة للمياه الناتجة من عمليات المعالجة المختلفة طبقاً للاستخدامات النهائية تبعاً لمصدر التصريف، أو كيفية إعادة الاستخدام، سواءً في عمليات الري، أو في الاستخدامات الصناعية أو تصريفها على المسطحات المائية.

في العقود الأخيرة حدث تطور تكنولوجي كبير في مجال معالجة مياه الصرف، وتضمن تطور أساليب التحكم بالحمأة المنشطة، وتحسين كفاءة عمليات نزع الفوسفور والنيتروجين بيولوجياً، كما تم زيادة فهم سليات و عيوب عمليات الترسيب الثانوي، وبرزت الحاجة إلى دمج طرق الترسيب والتهوية معاً للحمأة المنشطة. كما تم استخدام الهاضمات ذات الشكل الدائري لتثبيت الحمأة للمحطات الكبيرة.

بدأ شيوع استخدام تقنية الأغشية في محطات المعالجة كأحدث ثورة تكنولوجية خلال العقدين الأخيرين. استعمل أول نظام أغشية بدائي لمعالجة مياه الصرف، وهو ما يعرف بنظام "Dorr-Oliver" عام 1960 في فرنسا، واستمرت الأبحاث حتى بدايات عام 1990، ثم بدأ التوسع لهذا النظام في أوروبا الغربية، والولايات المتحدة الأمريكية، واليابان (83).

6.2. طرق معالجة مياه الصرف الصناعي

يتم معالجة مياه الصرف الصناعي والتخلص من الملوثات بطرق وأليات مختلفة ومتعددة إذا اقتضت الضرورة لذلك، تنقسم طرق وأساليب المعالجة إلى طرق معالجة فيزيائية، وكيميائية، وبيولوجية منفردة أو متجمعة.

تُعالج المياه العادمة الناتجة في صناعة البتروكيماويات، ليعاد استخدامها مرة أخرى في إنتاج البخار، أو في العمليات، أو لتعويض كميات المياه، باستخدام العديد من تقنيات المعالجة، تشمل هذه التقنيات مزيجاً من التقنيات التقليدية (المعالجة الحيوية)، وتقنية التبادل الأيوني،

وتقنية الترشيح الدقيق (MF)، وتقنية الترشيح الفائق (UF)، وتقنية التناضح العكسي (RO)، وتقنية الترشيح النانوي (NF). كما يتم استخدام الطاقة الحرارية لتبخير جزء من المياه، وتكثيفها، وتصريفها كمياه مقطرة نظيفة، وبلورات، وهو ما لا ينتج عنه أية مياه عادمة (مياه صرف صناعي)، ويتبقى كميات من الحمأة، ومواد متعجنة يتم دفنها في مدافن خاصة، وهو ما يطلق عليه تقنية التصريف الصفري (ZLD) (10)، يبين الجدول (17) مقارنة بين أنواع الترشيح المختلفة.

جدول (17): مقارنة بين أنواع الترشيح المختلفة

تقنية الترشيح	متوسط حجم مسام الغشاء (نانومتر)
تقنية الترشيح الدقيق - الفلترة الميكروية الدقيقة (MF)	200
تقنية الترشيح الفائق - الفلترة ما فوق الميكروية " فلترة فوقية" (UF)	2-50
تقنية الترشيح النانوي " الفلترة النانو متريّة" (NF)	أقل من 2
تقنية التناضح العكسي (RO)	أقل من 1

المصدر (44): Improvements in Wastewater Treatment Technology.

1.6.2 طرق المعالجة الفيزيائية أو الميكانيكية

هي طرق المعالجة التي تعتمد على القوى الطبيعية والفيزيائية، وكانت هذه الطرق هي أول الطرق المستخدمة في معالجة مياه الصرف ومازالت، وتشمل العديد من العمليات، وأهمها عمليات الفصل والتصفية، والترسيب، والفلترية "الترشيح"، والترويب، والتعويم أو الطفو وعمليات فصل الزيوت، والترويق، والتهوية اللازمة للمعالجة البيولوجية (34).

2.6.2 طرق المعالجة الكيميائية

تشتمل طرق المعالجة الكيميائية لمياه الصرف الصناعي على إضافة كيماويات، وتعتمد على حدوث تفاعلات كيميائية من أجل التخلص من أو تحويل الملوثات إلى مواد يسهل فصلها، ومن أكثر الطرق الكيميائية شيوعاً في هذا المجال، الترسيب، والامتزاز.

تتم المعالجة بالترسيب الكيميائي من خلال تكوين راسب كيميائي، وفي معظم الأحيان يحتوي هذا الراسب على المكونات التي تفاعلت مع المواد الكيماوية المضافة إلى جانب المكونات الأخرى التي قد تفصل أثناء الترسيب. أما الامتزاز فيعتمد على قوة الجذب بين الأجسام للتخلص من مركبات معينة من خلال التصاقها بسطح المواد الصلبة، كما تهدف العمليات الكيميائية إلى ضبط قيمة الأس الهيدروجيني، وإضافة مواد مائعة لتكون القشور، والترسبات، والأكسدة، بالإضافة إلى طرق معالجة أخرى لإزالة المعادن الثقيلة، وإزالة المواد السامة، وغيرها. يصحب المعالجة الكيميائية طرق معالجة فيزيائية، وقد تتطلب أيضاً استخدام بعض طرق المعالجة البيولوجية (33).

3.6.2 طرق المعالجة البيولوجية

تعتمد طرق المعالجة البيولوجية على النشاط البيولوجي في التخلص من الملوثات من المواد العضوية (الرغوية أو الذائبة) القابلة للتحلل بيولوجياً. تتم هذه العملية من خلال تحويل الملوثات إلى غازات تتسرب إلى الهواء الخارجي، أو تتحول إلى نسيج من الخلايا البيولوجية (الحمأة) التي يمكن التخلص منها عن طريق الترسيب، وللتخلص أيضاً من المغذيات (النيتروجين، الفسفور). تعاد الحمأة المترسبة في أحواض الترسيب النهائي إلى أحواض التهوية مرة أخرى لتكون الوسط الذي يتم بواسطة عملية الأكسدة العضوية، ويراعى التقليل المستمر لمنع حدوث أي ترسيب داخل الحوض خوفاً من تراكم الرواسب مما يقلل من كفاءة عملية الأكسدة وتنشيط البكتيريا اللاهوائية في منطقة الترسيب، وبلي وحدات المعالجة البيولوجية أحواض ترسيب نهائية لإزالة المواد العالقة المؤكسدة، وتكون المياه الخارجة الناتجة من هذه العمليات لا تحتوي إلا على كميات قليلة من المواد العالقة، وقيم منخفضة من طلب الأكسجين الحيوي (82). طرق المعالجة البيولوجية تكون هوائية أو لا هوائية، وتحتوي طرق المعالجة على العديد من العمليات، ويمكن استخدام طريقة أو أكثر في محطة المعالجة (34).

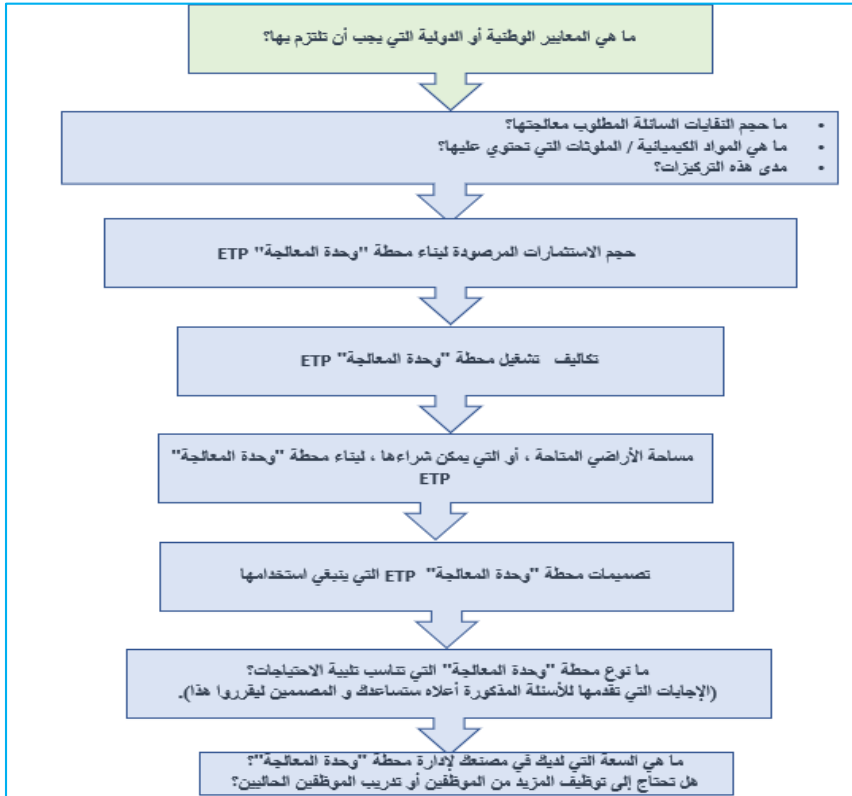
تتطلب المعالجة البيولوجية الهوائية إضافة الهواء إما بطريقة مباشرة بواسطة كباسات، وناشرات للهواء، أو بطريقة غير مباشرة باستخدام هوائيات ميكانيكية، أو بالإثنين معاً (82)، كما

تحتاج أيضاً إلى ضبط قيمة الأس الهيدروجيني، ودرجة الحرارة، للحفاظ على حياة الكائنات الحية الدقيقة اللازمة لعمليات المعالجة البيولوجية، ويجب التأكد من تزويدها بمواد التغذية، والتهوية، وكميات الأكسجين المناسبة. كما يجب أن تدار محطات المعالجة البيولوجية بعناية أثناء استخدامها الكائنات الحية الدقيقة لهضم الملوثات، نظراً لاحتمالية وجود بعض المواد، أو المركبات التي قد تكون سامة للبكتيريا المستخدمة في عمليات المعالجة، لذا فقد يكون من الضروري إجراء بعض طرق المعالجة الفيزيائية و/أو الكيميائية الأولية.

7.2. وحدات ومحطات معالجة مياه الصرف الصناعي

تعتمد التصميمات والمخططات المبدئية لمحطات معالجة مياه الصرف الصناعي (IWTs) على الدراسات المبدئية للوحدة، مما يستلزم ضرورة معرفة التشريعات والقوانين البيئية التي تحدد الحدود القصوى من الملوثات المسموح بها بعد عمليات المعالجة، وتحديد عمليات الإنتاج المختلفة، ونوعية ومواصفات مياه الصرف الصناعي الداخلة لمحطات المعالجة، ومساحة الأرض المتاحة لإنشاء الوحدة، ومدى إمكانية إعادة استعمال أو تدوير المياه المعالجة، ومدى توفر الاستثمارات والخبرات في مجال أعمال التشغيل والصيانة، لذا فإن وحدات المعالجة المختلفة يتم وضعها في ترتيب معين طبقاً لعمليات، ومستويات المعالجة المطلوبة يبين الشكل (13) الاعتبارات الواجب أخذها في الاعتبار عند تخطيط إنشاء وحدة معالجة الصرف الصناعي (34).

الشكل (13): الاعتبارات الواجب أخذها في الاعتبار عند تخطيط إنشاء وحدة معالجة الصرف الصناعي



المصدر: Choosing an Effluent Treatment Plant, M. Akhtaruzzaman, Stockholm Environment Institute.

8.2. مستويات وأنظمة معالجة مياه الصرف الصناعي

تتعدد طرق ومستويات معالجة مياه الصرف الصناعي حسب المعالجة المطلوبة، وحسب مواصفات مياه الصرف الداخلة للمحطة، والناجمة منها، وحسب كمية المياه العادمة المراد معالجتها، ولكن بشكل عام فإن مستويات معالجة مياه الصرف الصناعي قد تكون تمهيدية أو تحضرية "Preliminary treatment"، أو ابتدائية "Primary"، أو ثنائية "Secondary"، أو ثلاثية / متقدمة "Tertiary/advanced". يبين الجدول (18) ملخص لأهم طرق معالجة مياه الصرف الصناعي في صناعة البتروكيماويات (41:40).

جدول (18): طرق معالجة مياه الصرف الصناعي في صناعة البتروكيماويات

مستوى المعالجة	التوصيف
التمهيدية أو التحضيرية Preliminary treatment	✓ هذه المرحلة هي على أهمية بالغة لجهة حماية تجهيزات محطة المعالجة من الأعطال وخصوصا الأنابيب والمضخات.
ابتدائي / Primary	✓ التصفية Screening ✓ التجانس Equalization ✓ الترويق Clarifier ✓ فاصل الزيوت "API" / وحدة فصل الزيوت "CPI" ✓ التعويم بالهواء المذاب "DAF" Dissolved air Flotation / التعويم بالغاز المذاب Induced Air Flotation ✓ "DGF" Dissolved Gas Flotation / التعويم بالهواء المستحث ✓ "IAF" Induced Gas Flotation / التعويم بالغاز المستحث ✓ الترسيب / التعادل / الترشيح والفلترية.
ثانوي / Secondary	✓ المعالجة البيولوجية الهوائية "Aerobic". ✓ عملية الحمأة المنشطة التقليدية "ASP" Conventional Activated Sludge Process. ✓ نظام الحمأة المنشطة الدوري "CASS" Cyclic Activated Sludge System. ✓ نظام الحمأة المنشطة المتكامل ذو الغشاء الثابت Integrated Fixed Film Activated Sludge ✓ "IFAS" Sludge. ✓ المفاعل الحيوي بنظام السرير المتحرك "MBBR" Moving Bed Bioreactor. ✓ المفاعل الحيوي بنظام الغشاء "MBD" Membrane Bioreactor. ✓ الترشيح الهوائي البيولوجي "BAF" Biological Aerated Filter.
ثلاثي / متقدم Tertiary/advanced"	طرق المعالجة لغرض الصرف على المصارف: ✓ الترشيح بالرمال Sand Filer / التطهير Disinfection ✓ الأكسدة المتقدمة Advanced Oxidation طرق المعالجة بغرض إعادة الاستخدام: ✓ تقنية التبادل الأيوني، وتقنية الترشيح الدقيق "MF"، وتقنية الترشيح الفائق "UF"، وتقنية التناضح العكسي "RO" / الأكسدة المتقدمة، التبادل الأيوني.

المصدر : Biological Wastewater Treatment : A short account on petrochemical industry effluent treatment.

1.8.2. المعالجة التحضيرية / التمهيدية "Preliminary Treatment"

المعالجة التمهيدية هي المرحلة التي يتم فيها بشكل عام إزالة المواد الصلبة اللاعضوية كبيرة الحجم، عبر استعمال شبكات لالتقاطها وإزالتها، وكذلك لترسيب الرمال والحصى من

المياه، بهدف حماية المنشآت الميكانيكية، والمضخات، والتجهيزات الأخرى من الأعطال، وخصوصاً الأنابيب والمضخات.

تهدف هذه المرحلة أيضاً إلى تحقيق التجانس للمياه الواردة إلى المحطة عند حدوث تغيرات مفاجئة في كمياتها، ومواصفاتها. من أهم وحدات هذه المرحلة، المصافي، وأجهزة التفتيت والسحق والطحن، غرف أو أقنية الترسيب للرمال والحصى.

2.8.2. المعالجة الأولية "Primary Treatment"

المعالجة الأولية، وتسمى أيضاً المعالجة الميكانيكية، وهي المرحلة الأولى من عمليات المعالجة التي يليها عمليات أخرى، وتعد مرحلة ضرورية قبل إجراء المرحلة التالية، وهي مرحلة عمليات المعالجة الثانوية. الغرض من هذه المرحلة هو التخلص من المواد الطافية، ومعظم المواد العالقة، والمواد العضوية القابلة للترسيب بالطرق الميكانيكية أو الفيزيائية. كما تهدف هذه المرحلة أيضاً إلى الحصول على سائل متجانس قابل للمعالجة بالطرق البيولوجية "الحيوية" في مرحلة لاحقة، وكذا الحصول على حمأة قابلة للمعالجة بشكل منفصل.

تعتمد المعالجة التمهيدية على ترسيب المواد الصلبة في أحواض الترسيب الأولية، وعادة ما تكون هذه الأحواض عريضة بشكل يسمح للمواد الصلبة الخفيفة، والدهون والزيوت بأن تطفو على سطح الماء، ليسهل كشطها وإزالتها. ويتم ذلك بواسطة الحجز بالمصافي، وفصل المواد الزيتية والشحوم، والمواد العالقة القابلة للترسيب.

تكون أحواض الترسيب عادة مجهزة بتجهيزات ميكانيكية تساعد على تجميع الحمأة في قاع الحوض، ثم تضخ من قاع الحوض إلى المراحل التالية لمعالجتها. وكذلك لإزالة المواد الطافية من دفق المياه التي يتم معالجتها. تكون أحواض الترسيب مجهزة أيضاً بتجهيزات ميكانيكية "مضخات" لنقل المياه المتجانسة إلى المراحل التالية من المعالجة.

تستخدم بعض المواد الكيميائية في المرحلة الأولية لمساعدة المواد على الطفو على سطح الماء، وكذلك لترسيب المواد الصلبة في القاع، وتسمى الحمأة المتولدة عن المعالجة الأولية بالحمأة الأولية. يمكن في هذه العملية خفض قيم طلب الأكسجين الكيميائي الحيوي "BOD".

أي مستوى التلوث بالمواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي- بما يزيد عن 20-30 %، وأن تخفّف نسب المواد الصلبة العالقة الكلية "TSS" بما يزيد عن 50-60%. وتتضمن عمليات المعالجة الأولية كل من العمليات التالية:

1.2.8.2. التصفية أو الغربلة "Screening"

تعتبر التصفية أو الغربلة أول عملية هامة في مرحلة المعالجة الابتدائية لمياه الصرف، ويتم بتمرير المياه الملوثة من خلال مصافي لفصل المواد الصلبة كبيرة الحجم العالقة بالمياه. تستخدم المصافي على شكل قضبان حديدية مستقيمة أو مقوسة، أو أسلاك متوازية رأسية أو مائلة عن الأفقي بزاوية، أو على صورة شبكة سلكية أو أسطح "صفيحة" مثقبة. يطلق عادة على الشبكة ذات القضبان المتوازية الرأسية أو المائلة عن الأفقي بزاوية بالمشط أو المخلعة "Rack" ومع أن المخلعة هو أداة التصفية إلا أن مصطلح Screen يطلق على النوع الذي يتكون من قماش، أو سلك أو أسطح مثقبة، كما في الشكل (14) ⁽³⁶⁾، ويمكن أن تكون الفتحات على شكل دائري أو مستطيل.

الشكل (14): نموذج مصافي عمودية



المصدر: <http://drycake.com/equipment/screening/MULTIRAKE.php>

تصنف المصافي كمصافي خشنة "Coarse Screening" – الحواجز ذات القضبان- ، أو كمصافي ناعمة "Fine Screening".

وتكون المسافات بين القضبان أو الاسياخ في المصافي الخشنة في حدود 6-150 ملم "6-0.25 بوصة" (35)، تتكون المصافي الخشنة المصنعة حديثاً من براميل من الفولاذ غير القابل للصدأ، أو من شبكة سلكية خشنة مصنوعة من مادة غير حديدية. تتراوح أبعاد فتحاتها عادة ما بين 6 إلى 20مم أو أكثر، تدور المصافي البرميلية حول محور أفقي بمعدل 4 دورات/دقيقة، وتوضع بحيث يكون أقل من نصفها مغموراً بالمياه العادمة.

تتوفر المصافي البرميلية بأحجام مختلفة تتراوح ما بين 1 إلى 5.1 م في القطر و 2.1 م إلى 7.3 م في الطول. تقوم المصافي البرميلية بالتقاط المواد الصلبة ثم رفعها للأعلى أثناء دورانها، ومن ثم تزال منها المواد الملتقطة في أوعية تجميع خاصة وذلك بواسطة قذفها بخرطوم مائي ذو ضغط عالي (75). بين الشكل (15) أنواع المصافي الخشنة المستخدمة في صناعة إنتاج الكيماويات والبوليمرات.

الشكل (15): بعض أنواع المصافي الخشنة المستخدمة في صناعة إنتاج الكيماويات والبوليمرات

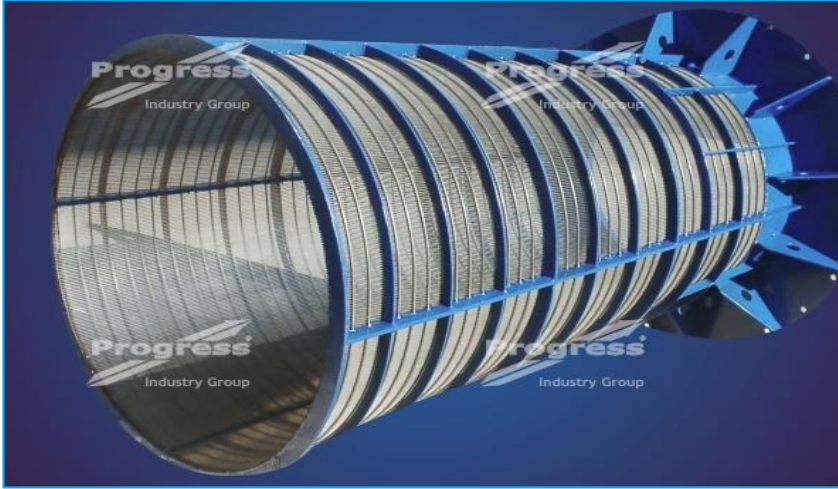


المصدر: [pro-slot%20wedge%20wire%20screens%20progress.pdf](https://www.wateronline.com/doc/wwema-window-slots-vs-holes-in-preliminary-treatment-screening)

<https://www.wateronline.com/doc/wwema-window-slots-vs-holes-in-preliminary-treatment-screening>

عادة ما تستخدم المصافي الناعمة بعد المصافي الخشنة (82)، وتستخدم لإزالة المواد الصلبة من النفايات السائلة للحد من مشكلة انسداد الفلاتر. تكون المساحة بين فتحات المصافي الناعمة "Fine Screening" في حدود 0.035 – 6 ملم، ويتم تنظيفها ميكانيكياً بواسطة أمشاط متحركة لها أسنان تتخلل الفتحات التي بين القضبان، وينظف المشط ألياً في نهاية مشواره. يعمل المشط ذاتياً بواسطة عوامتين بقياس منسوب المياه أمام وخلف المصافي، وعند قياس العوامتين لفرق منسوب يصل إلى 15 سم تعطي إشارة ليعمل المشط ويقوم بعملية التنظيف. يمكن أن تكون المصافي الناعمة ثابتة "Fixed"، أو من نوع إسفين- سلك الشاشة "wire screen type wedge" كما في الشكل (16)، أو أسطوانية "Drum"، أو تعمل بنظام التصفية بالطرد المركزي "Centrifugal Screening"، كما في الشكل (17) (35).

الشكل (16): المصافي الناعمة من نوع إسفين سلك الشاشة الأسطوانية



المصدر: http://progress-screens.com/products/screen_based_products/127,rotary_sieve_-_wedge_wire_drum_screen

الشكل (17): المصافي الناعمة بطريقة الطرد المركزي



المصدر: http://progress-screens.com/products/screen_based_products/127,rotary_sieve_-_wedge_wire_drum_screen

تم تطوير أنواع مختلفة من المصافي الناعمة وهي المصافي الميكرونية "micro-screens"، بفتحات ترشيح تتراوح في الحجم ما بين 10-35 ميكرون "μm"، لتحسين جودة معالجة المياه في محطات المعالجة الثانوية.

2.2.8.2. تثبيت معدل تدفق وتجانس مياه الصرف الصناعي Flow Equalization

الغرض من عملية تثبيت معدل التدفق والتجانس، أو ما يطلق عليها أيضاً بطرق المعادلة "Equalization" هو تجميع مياه الصرف، وكذلك المخلفات العضوية من المصادر المختلفة الحامضية أو القاعدية في أحواض خاصة حيث يتم خلطها لتصبح ذات تركيزات متجانسة وتدفق ثابت يسهل معالجتها في المراحل التالية خاصة عملية المعادلة بالأحماض أو القلويات. تساعد عملية تثبيت تدفق المياه في التغلب على مشكلات التشغيل الناتجة عن التغير في معدلات تدفق المياه إلى محطات المعالجة وبالتالي تحسن من أداء محطة المعالجة، ويستخدم لإتمام هذه العملية خزان خاص يطلق عليه خزان التجانس، أو التعادل "Tank Equalization"، بالإضافة إلى خزان آخر للطوارئ لاستقبال المياه الملوثة في حالة حدوث عطل فني أثناء عملية

المعالجة، أو لأعمال الصيانة الطارئة أو الدورية. يبين الشكل (18) خزان التجانس والمعادلة المستخدم في محطات معالجة مياه الصرف الصناعي (39).

الشكل (18): خزان التجانس والمعادلة في محطات معالجة مياه الصرف الصناعي

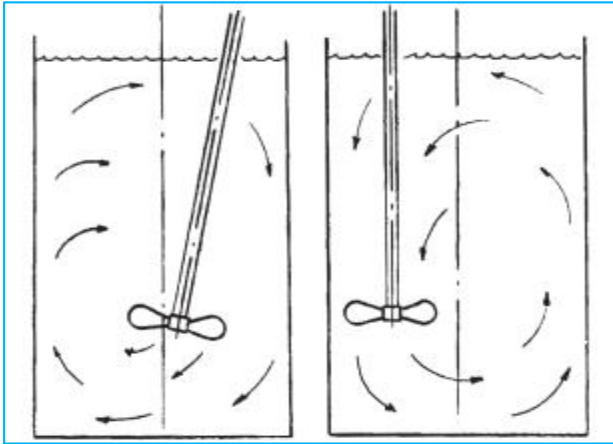


المصدر: <http://www.mixing.com/index.php/155-applications-images/321-equalization-tank>

تعمل المعالجة بنظام تثبيت معدل تدفق وتجانس المياه العادمة الداخلة إلى محطات المعالجة على زيادة كفاءة عمليات المعالجة، وخاصة المعالجة البيولوجية، حيث أن عملية التجانس والمعادلة تعمل على منع أو تقليل الأحمال المفاجئة، وتخفيف تركيزات المواد السامة، وثبات رقم الأس الهيدروجيني، التي قد تؤثر على العملية البيولوجية "الحوية"، كما تعمل على تحسين عمليات الترشيح والغسيل العكسي لتكون أكثر انتظاماً، وتحسين أداء المعالجة الكيميائية نظراً لثبات الأحمال مما يؤدي إلى انتظام عمليات إضافة وتغذية جرعات الكيماويات المستخدمة في عمليات المعالجة، كما يعمل على تحسين خواص المياه المعالجة وكفاءة عمليات التثخين "Thickening" في أحواض الترسيب الثانوية التي تتبع المعالجة البيولوجية حيث تزداد كفاءتها نتيجة ثبات أحمال المواد الصلبة.

يمكن تركيب خزان التثبيت والتجانس في بداية عمليات المعالجة، أو بعد المعالجة الأولية وقبل المعالجة البيولوجية. يزود خزان التجانس بخلاطات أو قلابات بحيث يسمح بتقليب المواد المترسبة، لتحقيق التجانس، وتتوفر هذه الخلاطات بأنواع مختلفة، ويعتمد تصنيف الخلاطات على نمط التدفق الناتج عنها. الخلاطات شائعة الاستخدام في الصناعات إما خلاطات ذات أنماط محورية "Axial"، أو خلاطات نصف قطرية "عقري" "Radial Patterns"، بحيث يتم وضع عمود القلاب بزاوية ميل تقدر ب 15 درجة من الوضع الرأسي، أو من نقطة خط المنتصف، كما يبين الشكل (19) (38). تزود الخزانات بمصدر للتهوية للتغلب على انبعاث الروائح الكريهة (37)، وتعد عملية التثبيت عملية غير مكلفة تساهم في التغلب على مشاكل محطات المعالجة التي تعاني من ازدياد الأحمال.

الشكل (19): رسم توضيحي لوضع عمود القلاب في خزان التجانس والمعادلة



المصدر: Flow Equalization and Neutralization, Ramesh K. Goel, Joseph R.V. Flora, and J. Paul Chen.

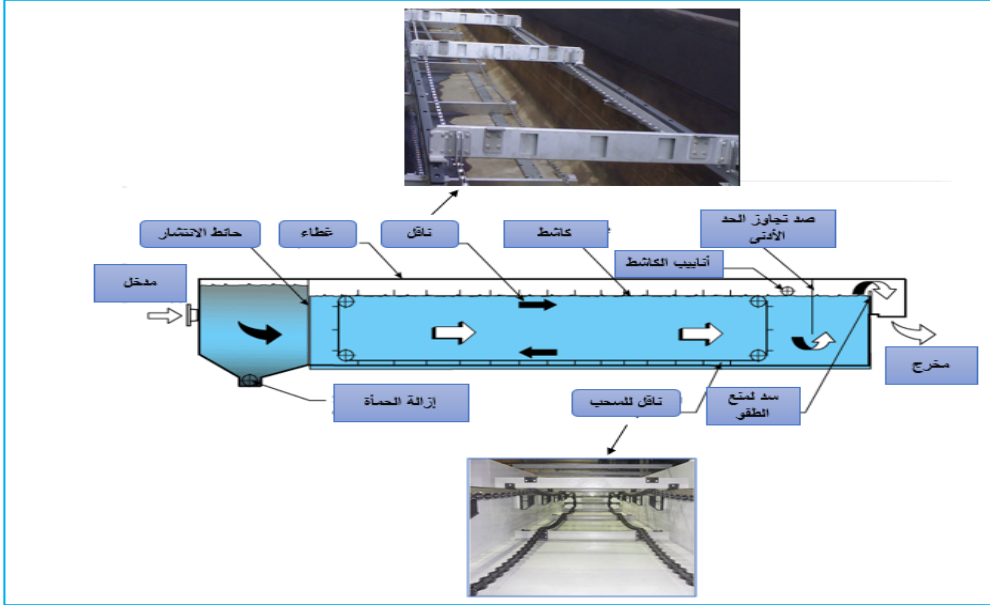
3.2.8.2. فصل الزيوت

تعد تقنية فصل الزيوت أحد طرق المعالجة الفيزيائية الأولية لمياه الصرف الصناعي، وتعتمد على الفصل بفعل الجاذبية للمواد الطافية، والزيوت، والمواد العضوية الحرة (غير المستحلبة) من المياه الملوثة (54)، لذلك فإن معظم الصناعات البترولية والبتروكيماوية تستخدم أجهزة لفصل الزيوت عن الماء بدلاً من طرق الترسيب الأولية.

1.3.2.8.2. فاصل الزيوت API

فاصل الزيوت "API" عبارة عن جهاز قام معهد البترول الأمريكي "American Petroleum Institute" بتصميمه، بالتعاون مع شركة "سيمنس" منذ أكثر من ثمانين عاماً، حيث تم استخدامه لأول مره في مصفاة تكرير أطلنتك "Atlantic Refinery" بولاية فلاديفيا عام 1933 (55)، وهو الأكثر استخداماً في الصناعات البترولية وإنتاج البتروكيماويات. يعمل فاصل الزيوت بمبدأ الفصل بالجاذبية طبقاً "قانون ستوكس"، والذي يحدد سرعة طفو جزيئات الزيت إلى السطح تبعاً لحجم الزيت وكثافته، وعادة ما يكون الفرق بين الكثافة النوعية للزيت المراد فصله والماء أقرب بكثير إلى الكثافة النوعية للمواد الصلبة العالقة والماء. لذلك، يعتمد تصميم فاصل الزيوت على الفرق في الكثافة النوعية للزيت المراد فصله وكثافة المياه الملوثة به، لذا فسوف تستقر غالبية المواد الصلبة العالقة في الوحدة، وبمجرد إزالة الزيت، والمواد الصلبة العالقة من مياه الصرف الصناعي في فاصل الزيوت، يتم إرسال المياه المتبقية لمزيد من المعالجة (55)، يبين الشكل (20) مخطط تدفق فاصل الزيوت.

الشكل (20): مخطط تدفق فاصل الزيوت API



المصدر: <https://www.monroenvironmental.com/water-and-wastewater-treatment/api-separators>

يوجد نوعان من فواصل الزيوت "API"، النوع المستطيل، والنوع الدائري، كما هو مبين في الأشكال (21، 22). يعد النوع المستطيل الأكثر شيوعاً حيث كثيراً ما تعمل هذه الأجهزة مع محطات معالجة ذات كميات كبيرة، وتدفق عالي من المياه مما يستلزم وحدات كبيرة الحجم. ويعيب هذا النوع من الأجهزة أنها تحتاج إلى زمن مكوث "Resident time" طويل لضمان أقصى كفاءة لفصل الزيت. ومن الممكن أن تزود فواصل الزيوت بأغطية لمنع انبعاثات المركبات العضوية المتطايرة، كما يبين الشكل (23).

الشكل (21): فاصل الزيوت API من النوع المستطيل



المصدر: <http://nebula.wsimg.com/b6084fdfd24214e4692533b33521a68b>

الشكل (22): فاصل الزيوت API من النوع الدائري



المصدر: <https://www.monroenvironmental.com/water-and-wastewater-treatment/api-separators>

الشكل (23): أغطية لفواصل الزيوت API، لمنع انبعاث المواد العضوية المتطايرة



المصدر: <https://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/industries-utilities/oil-gas/portfolio/water-solution/Get-the-Most-out-of-API-Separators.pdf>

يعمل عدم التخلص من الحمأة على فشل الوحدة، وتوقفها عن العمل، لذا تعد عملية إزالة الحمأة أو التخلص منها من قاع الفاصل من أصعب الخطوات، حيث لا يمكن ضخ مكونات القاع بواسطة مضخات الطرد المركزي، نظراً لاحتوائها على نسب مرتفعة من المواد الصلبة وتصل نسبها إلى نحو 8%، كما أنها شديدة اللزوجة وتشبه الأسفلت، لذا لابد من استخدام مضخات الفصل الموجبة "Positive displacement pump".

تتأثر كفاءة أداء فاصل الزيوت بالعديد من العوامل، خاصة في حال وجود الزيوت على هيئة زيوت مستحلبة أو دائبة، والتي لا يمكن عادة فصلها بواسطة فاصل جهاز API، كذلك يعمل ارتفاع قيم رقم الأس الهيدروجيني على ثبات المستحلبات. لذا تضاف الصودا الكاوية لعمليات التعادل، وخفض قيمة الأس الهيدروجيني في فاصل API، بهدف زيادة وتحسين كفاءته (54،55).

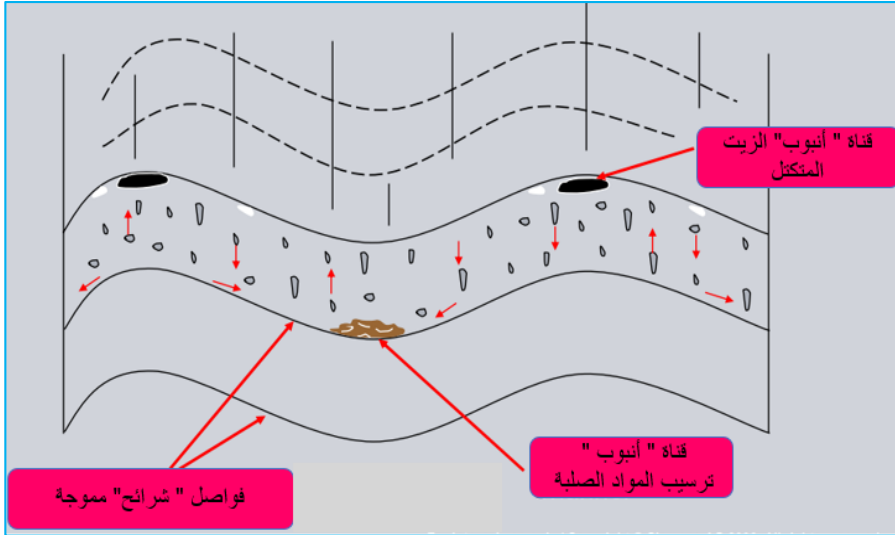
2.3.2.8.2. وحدة فصل الزيوت CPI

وحدة فصل الزيوت أو ما يطلق عليها "الشرائح الاعتراضية المموجة" Corrugated Plate Interceptor (CPI)، تستخدم لفصل كل من الزيوت التي تتواجد بنسب منخفضة وتتراوح ما بين 200 – 10.000 ج.ف.م، أو المواد الصلبة العالقة والتي تتواجد بنسب أقل من 100-200 ج.ف.م، وتعد بديلاً لوحدة فصل الزيوت "API" في مصافي التكرير، والصناعات البتروكيماوية.

تصل كفاءة فصل الزيت باستخدام هذه الوحدة إلى حوالي 70-99%، وتتكون وحدة فصل الزيوت "CPI" من مجموعة من الشرائح أو مجموعات من الفواصل، يتم وضعها بطريقة متوازية بزاوية ميل 60 درجة للسماح بفصل الزيت أو المواد الصلبة بخاصية الجاذبية الأرضية، يبين الشكل (24) مخطط شكل وحدة فصل الزيوت "الشرائح الاعتراضية المموجة".

الشكل (24): مخطط شكل وحدة فصل الزيوت "الشرائح الاعتراضية المموجة"

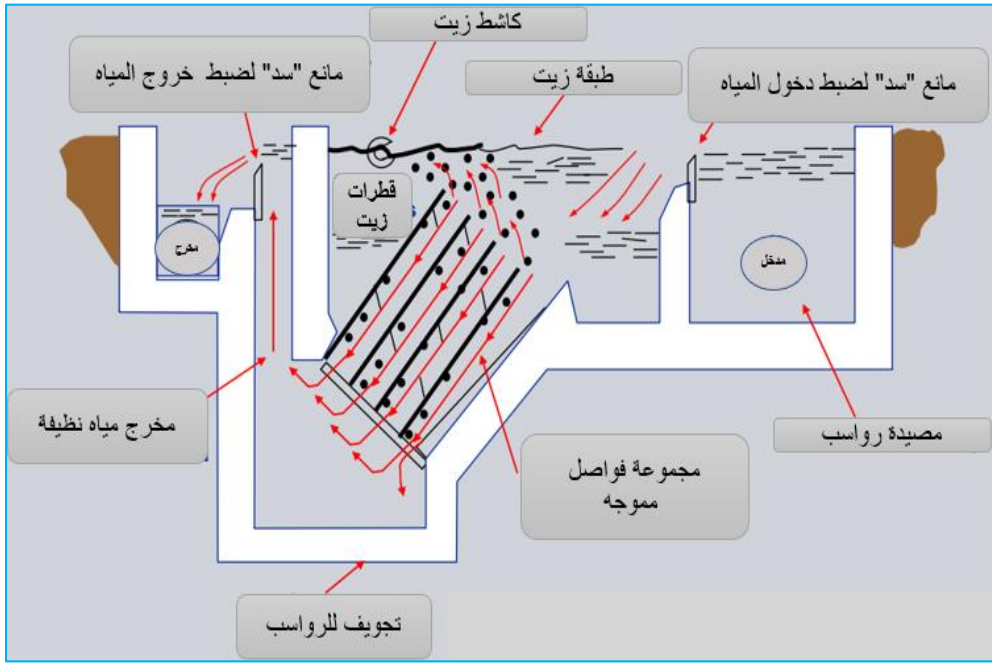
Corrugated Plate Interceptor (CPI)



المصدر: Petroleum Refinery, Ethylene and Gas Plant Wastewater Treatment Presentation, Siemens AG 2006

يدخل الماء الملوث بالزيت، والمواد الصلبة العالقة من أعلى الوحدة، ويتدفق لأسفل بين الشرائح " الفواصل " حيث يلتصق الزيت المنفصل على أسطح فواصل الألواح المتوازية ويتحرك إلى أعلى، بينما يتحرك باقي المياه إلى أسفل. عند فصل جزيئات الزيت الثقيلة عن الماء، يدخل الماء غير المعالج إلى فاصل اللوحة في الجزء السفلي من الجهاز ويتحرك خلال فواصل اللوحة إلى أعلى، تنزلق الجسيمات الأثقل إلى أسفل وتخرج من قاع الجهاز، كما يبين الشكل (25) (56).

الشكل (25): مخطط أليات عمل وحدة فصل الزيوت CPI



المصدر: Petroleum Refinery, Ethylene and Gas Plant Wastewater Treatment Presentation, Siemens AG 2006

تتميز وحدات فصل الزيوت CPI بانخفاض تكلفة الإنشاء، وصغر المساحة اللازمة للوحدة، بالإضافة إلى سهولة التعامل والتحكم في نسب انبعاثات المواد العضوية المتطايرة، والروائح. بينما يعيب الوحدة أنها لا تعمل في تراكيزات مرتفعة للمواد الصلبة العالقة والتي

تكون ذات تركيزات أعلى من 500 ج. ف. م. يبين الشكل (26) وحدة فصل الزيوت CPI في مشروع "فاتيمه" لإنتاج اسمدة اليوريا في دولة باكستان (57).

الشكل (26): وحدة فصل الزيوت CPI في مشروع "فاتيمه" لإنتاج اسمدة اليوريا في دولة باكستان



المصدر: http://www.freyliit.com/fileadmin/_migrated/content_uploads/CPI_Separator.pdf

4.2.8.2. الترسيب والترقيق Sedimentation/ Clarification

الغرض من عملية الترسيب هو ترسيب أكبر نسبة ممكنة من المواد العالقة عن طريق تركها تترسب تحت تأثير وزنها. تكون عملية الترسيب إما أنها تكون طبيعية أي تحت تأثير وزن المواد العالقة بها بدون إضافة أي مواد وتسمى الترسيب الذاتي أو ما تعرف أيضاً بالترسيب الطبيعي -Plain Sedimentation- ، أو تكون بإضافة مواد مساعدة أو كيماويات لتساعد على تجميع المواد الخفيفة والتي ليس لها القدرة على الترسيب بمفردها في الحالة الطبيعية وتسمى "الترسيب باستعمال المروبات" وهو النوع الشائع استخدامه في تقنيات معالجة المياه (82).

تتم عمليات الترسيب الطبيعي في أحواض خاصة تمر فيها المياه لفترة معينة، وتحت ظروف تساعد على ترسيب المواد العالقة إلى قاع هذه الأحواض، وهي من وحدات التشغيل الأكثر شيوعاً في معالجة مياه الصرف. تستخدم عمليات الترسيب في إزالة الرمال في أحواض الترسيب الأولية، وفصل الحمأة النشطة في المعالجة البيولوجية، وكذلك في فصل الرواسب في المعالجة الكيميائية، وفي عمليات تخزين الحمأة. تسمى أحواض الترسيب "بالمروقات". يوجد نوعان من خزانات أو أحواض الترسيب، هما المستطيلة كما في **الشكل (27)**، أو الدائرية كما في **الشكل (28)**. تزداد معدلات الترسيب في المياه الدافئة عن المياه الباردة حيث تكون المياه أقل كثافة ولزوجة مما يسهم في سرعة الترسيب.

شكل (27): أحواض الترسيب (المروقات) المستطيلة



المصدر: Wastewater Treatment Technology, Michigan Environmental 2010 Michigan Environmental Compliance Conference.

شكل (28): أحواض الترسيب (المروقات) الدائرية

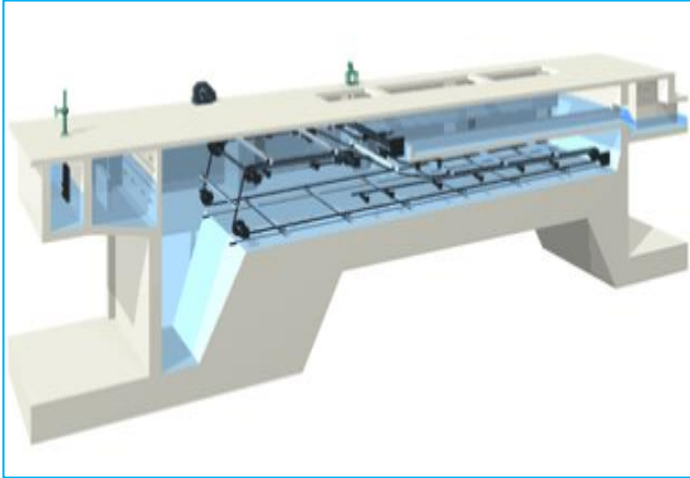


المصدر: Wastewater Treatment Technology, Michigan Environmental 2010 Michigan Environmental Compliance Conference.

يتم المفاضلة بين الشكلين طبقاً لحجم محطة المعالجة، ووفقاً للقوانين الموضوعية من قبل الهيئات المحلية، ومتطلبات الموقع، والتكلفة التقديرية للمحطة، ويُراعى عمل خزانين للترسيب على الأقل في كل محطة (واحد رئيسي والآخر احتياطي) حفاظاً على استمرارية العمل في المحطة أوقات أعمال الصيانة والإصلاح فيها (75).

تزود أحواض الترسيب بكاشط للحمأة "Scraper sludge"، لتجميع الحمأة المترسبة في مركز الحوض وسحبها، أو ضخها إلى الخارج، وقد تضاف بعض المواد الكيميائية (المنيوم – كلس – حديد – وبعض الأنواع الأخرى)، للمساعدة على عمليات الفصل والترسيب. تزود أحواض الترسيب المستطيلة عادة بكاشط يعمل بطريقة ذهاب وعودة "back and go"، كما في الشكل (29).

الشكل (29): مخطط حوض ترسيب (مروق) مستطيل، مزود بكاشط

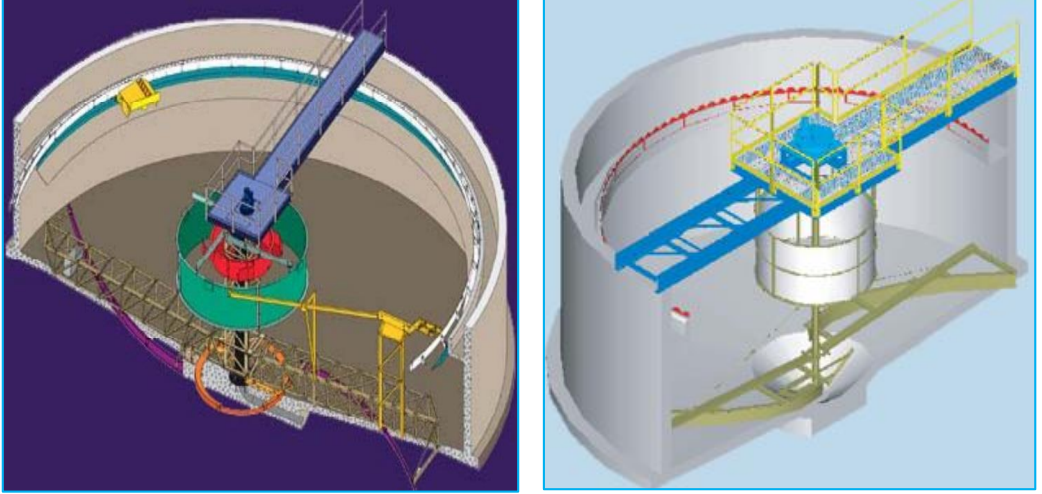


المصدر: ECHEM، Integrated WW treatment and Recycle/ Reuse System

تختلف الخزانات الدائرية عن الخزانات المستطيلة كون الدفق فيها يسير باتجاه قطرها. وللتمكن من ذلك تدفع المياه الداخلة إليها إما من مركز الخزان ويطلق عليه مركزي التغذية أو من محيطه ويطلق عليه محيطي التغذية، وكلتا الطريقتين لا تؤثران على كفاءة الترسيب في الخزان.

تزود الأحواض الدائرية عادة بكاشط دائري، كما في **الشكل (30)**، ويتم التخلص من الرواسب المتجمعة، إما عن طريق إنزال مضخة من أعلى إلى أسفل الحوض كل ساعة أو نصف ساعة من أجل ضخ الرواسب المجمعة في المخروط " قاع الخزان"، أو يتم ثقب الجدار وسحب الرواسب بعد جفافها **(45)**، إلا أن هذا النظام لم يعد مجدياً وخاصةً مع التزايد المستمر في كميات المياه المطلوب معالجتها **(82)**.

الشكل (30): مخطط حوض ترسيب (مروق) دائري، مزود بكاشط دائري



المصدر: ECHAM، Integrated WW treatment and Recycle/ Reuse System

1.4.2.8.2. الترسيب بطريقة الترويب والتندف Coagulation and Flocculation

في حالة عدم ملائمة طرق الترسيب الطبيعي وعدم جدواها في ترسيب الملوثات الدقيقة، والخفيفة خاصة العوالق الطينية، والكائنات الحية الدقيقة، والمواد العضوية، وذلك إما بسبب قصر مدة الترسيب وبالتالي تحتاج إلى مدة مكوث أكبر، أو أن الجسيمات التي في المياه تحمل شحنات كهربية سالبة وبالتالي يحدث تنافر لتماثل الشحنات فتبقى الجسيمات متباعدة، فإن هذه الشوائب الصغيرة المعلقة تحتاج إلى عمليات ترويب وتندف (82).

الترويب "Coagulation" هو المرحلة الأولى لتكوين غرويات غير قابلة للذوبان في الماء، أما التندف "Flocculation" فهو المرحلة الثانية من عملية الترويب، وهي تكون الندف "Flocs" الأكبر حجماً، والذي يحدث له عمليات الترسيب لثقل وزنه.

عملية الترويب والتندف هي عملية فيز وكيميائية، تتم عملية الترويب أثناء عملية المزج والخلط السريع للمياه مع المروب، بغرض الخلط والمزج التام بينهما، وخلال عملية الترويب يتم إضافة مادة أو أكثر من المروبات حسب خواص المياه ومكوناتها. حسب خواص المياه ومكوناتها يتم خلال هذه العملية إضافة مواد كيميائية موجبة الشحنة إلى المياه لتحديد الأوساخ، والمواد الدائبة التي تحمل شحنة سالبة، وبهذا يتم تجميع المواد المذابة على شكل كتلة كبيرة الحجم، يطلق عليها الندف "Floc" يتم التخلص منها بالترشيح. تتأثر عملية الترويب بعدة عوامل من أهمها، درجة الحرارة حيث تكون عملية الترويب أفضل في درجات الحرارة الأعلى، كما أن درجة قلوية المياه تؤثر تأثيراً مباشراً على كفاءة الترويب، وكذلك تتأثر هذه العملية بنوع وجرعة " كمية" مواد الترويب المضافة. **الشكل (31) صورة مجهرية للندف البكتيرية في حوض التهوية (71).**

الشكل (31): صورة مجهرية للندف البكتيرية في حوض التهوية



المصدر: المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي في محطات الصرف الصحي، د. عبد الرازق محمد سعيد التركماني، 2009.

يمكن أن تكون مواد الترويب المستخدمة في المعالجة مواد غير عضوية (مثل كلوريد الألومنيوم، كلوريد وسلفات الحديد، سلفات الحديدوز والجير، وسلفات الألمونيوم "الشبة")، أو بوليمرات (مشتقات بولي أكريلاميد، وبولي إيثيلين أمين)، أو مواد مخثرة طبيعية (المخثرات الميكروبية)، كما تستعمل مواد أخرى كمساعدات لمواد الترويب، ومن أهمها السيليكا المنشطة

"سيليكات الصوديوم"، والبولي إلكتروليتات " كاتيونات موجبة الشحنة، أو انيونية سالبة الشحنة، أو ننيونية متعادلة الشحنة" (82،48).

من الضروري جداً أن تتم عملية خلط مواد الترويب "المروبات" مع المياه بسرعة وذلك لضمان التجانس التام، وتوزع المروب في جميع أجزاء المياه، كما أن عملية التلامس الأول بين المروب والمياه من أكثر الخطوات أهمية في عملية الترويب بأكملها وذلك لأن تفاعل الترويب يحدث بسرعة عالية، لذا فمن المهم أن يتلامس المروب والجسيمات الغروية فوراً، وأن تتم عملية التقلب في ثواني معدودة حتى تتم عملية التلامس التام بين المروب والجسيمات العالقة.

تتم عمليات الخلط إما بالخلط الميكانيكي، حيث يتم تحريك المياه وتقليبها باستخدام بدالات، أو نافورة دوارة، أو مروحة، ويستخدم الناشر في الخلط عن طريق دفع المحلول " المروب" ليخرج من ثقب في أنابيب لينتشر في المياه. تقوم مضخة التغذية في الخط بحقن المحلول بواسطة مضخة إلى مواسير المياه فينتشر المحلول من خلال فتحات في أنبوبة التغذية. أما في حالة الخلط الهيدروليكي، يتم الخلط الهيدروليكي باستغلال اندفاع المياه وخاصة إذا أحدثت المياه دوامات نتيجة سرعتها العالية، وهو ما يضمن إتمام عملية الخلط (82).

تستخدم عملية الترويب لسرعة التخلص من المواد العالقة، وطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي في أحواض الترسيب الأولية، أو في حالة المعالجة النهائية لمياه الصرف الصناعي، كما تعمل على تحسين أداء أحواض الترسيب الثانوية وخاصة في عمليات الحمأة المنشطة، ومن أجل زيادة احتمالات الاصطدام بين حبيبات المروب مما يساعد على زيادة التصاقها ببعض لتكوين مواد صلبة قابلة للترسيب أو الترشيح.

توجد عدة طرق لإضافة مواد الترويب " التجميع" إلى المياه، حيث يمكن إضافة المروب على هيئة محلول وهو ما يعطي ميزة كبيره وهي التأكد من ذوبان المادة الكيماوية، وتشمل المواد التي يمكن إضافتها على شكل محلول كل من كلوريد الحديدك، وسيليكات الصوديوم. بينما يعطي إضافة المروب على هيئة مادة جافة الأفضلية من حيث أن المادة المروبة سوف تشغل حيز أقل، بالإضافة إلى الوفرة في المجهود نتيجة تحضيره على شكل محلول، ومن المواد

التي يمكن إضافتها الحجر الجيري " الكلس " ، سواء في حالة جافة أو معلقة ، ويشمل كل من كل من الجير الحي " أكسيد كالسيوم " ، والجير المطفي "هيدروكسيد الكالسيوم"، والطفل المساعد (82).

تتكون وحدة التنديف "Flocculation" من حوض، ووسيلة للخلط والتقليب البطيء، وتكون عملية التقليب في هذه المرحلة أبطأ من عملية الترويب، كما تجري عملية الخلط ببطء وتكون سرعة التصريف خلال الحوض بطيئة بما يضمن عدم تفتت الندف المتكون، عادة ما تكون فترة المكوث في هذه المرحلة من 25 إلى 45 دقيقة، وغالباً ما تؤخذ في التصميم بنحو 36 دقيقة. ويمكن إجراء التقليب لعملية التنديف ميكانيكياً باستعمال بدالات دوارة، أو هيدروليكيّاً " أي ينتج من حركة الماء"، وتشمل قلابات التنديف الميكانيكية عدة أنواع منها: قلابات مروحية، قلابات تربينية، وقلابات متأرجحة (82).

تتأثر عمليات التنديف بجرعة المادة المروية، إذ يتفاوت حجم الندف تبعاً لكمية المادة المروية المستخدمة، وبالتالي تتفاوت كثافتها فتزداد كثافة الندف بزيادة حجمها إلى أن تصل إلى حجم معين فتبدأ كثافتها تقل وبالتالي تقل سرعة ترسبها، لذلك فإنه يلزم مراعاة الدقة التامة في تقدير الجرعة الفعالة للمادة المروية "Optimum Dose"، وذلك للحصول على الندف ذات أعلى كثافة وبالتالي الأسرع في عملية الترسيب.

كما تتأثر عملية التنديف أيضاً بسرعة التقليب فإذا زادت سرعة التقليب عن سرعة معينة فإن ذلك يؤثر على قوة التماسك ويؤدي إلى تفتت الندف، وعدم تجميعها لذلك يجب مراعاة ألا تزيد السرعة في منطقة التنديف عن السرعة المناسبة للحفاظ على تماسك الندف (82).

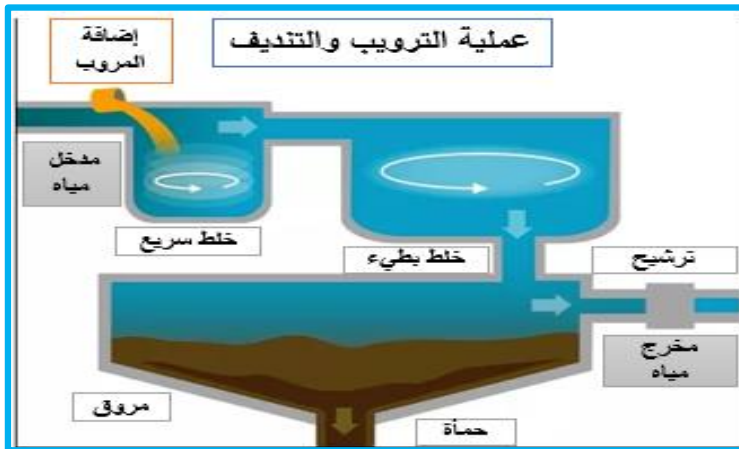
إن اختيار مادة الترويب يعتمد على نوع المياه المطلوب معالجتها، ونوع المواد العالقة، وتكلفة المادة المروية، كما أن كمية مادة الترويب تختلف أيضاً باختلاف نوع المياه. يوجد حد معين من مادة الترويب "Optimum Dose" للحصول على أحسن نتائج للمعالجة. تسمى كمية المادة المروية والتي تعطي أحسن النتائج بالجرعة الفعالة فإن تعدت هذه الكمية الحدود المطلوبة، فإن ذلك يكون غير مجدي (82).

تعد طريقة الترويب، والتندف من الطرق التقليدية لمعالجة مياه الصرف الصناعي المحتوية على أيونات المعادن لترسيبها على هيئة هيدروكسيد، أو أملاح غير ذائبة، ومع هذا فإن هذه الطريقة لا تصلح لفصل أيونات المعادن في بعض الحالات، حيث لا يعد تكون هيدروكسيد المعادن فعالاً في التركيزات المنخفضة الموجودة بمياه الصرف الصناعي، كذلك تميل رواسب الهيدروكسيد إلى الذوبان مره أخرى اعتماداً على تركيز المعادن.

تختلف ظروف تكون الراسب الهيدروكسيلي طبقاً لنوع المعدن، وإلى الحد الأدنى من درجة الحموضة " رقم الأس الهيدروجيني"، فعلى سبيل المثال الحد الأدنى يتكون راسب هيدروكسيد النحاس عند قيمة الأس الهيدروجيني "pH" تبلغ حوالي 9.5، في حين يتكون راسب هيدروكسيد الكاديوم عند قيمة الأس الهيدروجيني "pH" يساوي 11.

بعد عمليتي المزج السريع والمزج البطيء، تمر المياه في أحواض الترويق حيث ترسب الندف المتكونة في هذه الاحواض بما جذبت إلى سطحها من مواد عالقة إلى قاع الحوض. يبين الشكل (32) مخطط مبسط لعملية الترويب والتندف (47).

الشكل (32): مخطط مبسط لعملية الترويب والتندف



المصدر: <http://www.thewatertreatments.com/wastewater-sewage-treatment/317>

لا تختلف أحواض ترويق عمليات الترسيب بالترويب في تصميمها، كما أن العوامل المؤثرة على كفاءة الترسيب فيها لا تختلف أيضاً عن أحواض الترسيب الطبيعي، ولكن يختلف فقط الوقت اللازم لعملية الترسيب، لذا فإن أحجامها تكون أقل كثيراً (82).

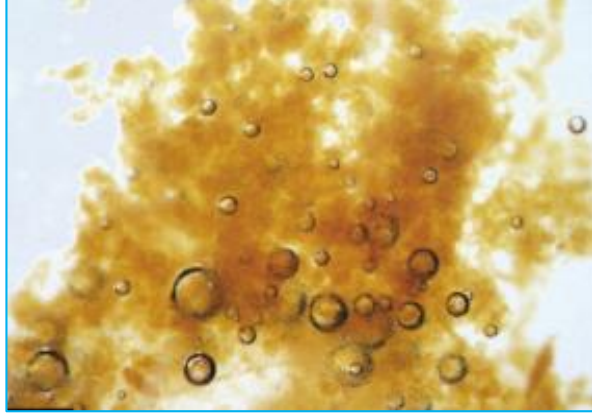
تطورت هذه الأحواض بالتقدم العلمي والتكنولوجي من حيث زيادة سرعة الترسيب، وزيادة سرعة مرور المياه في الأحواض، مما ساهم في تقليل حجمها قدر الإمكان، ثم اتجهت الأبحاث إلى تعويم الندف بطريقة التعويم بالهواء "Air Floatation" بدلاً من ترسيبها، حيث يعيب طريقة الترسيب بالترويب تكون كميات كبيرة جداً من الحمأة ذات محتوى مرتفع من المياه، لذا قد تصعب عمليات الترشيح، لذا يفضل في هذه الحالة استخدام طريقة الطفو "التعويم" بالهواء/ أو الغاز لفصل الرواسب (49).

5.2.8.2. الطفو " التعويم " Flotation

تستخدم طريقة التعويم للندف بالهواء أو بالغاز بدلاً من طرق الترسيب التقليدية لمعالجة مياه الصرف المحتوية على مواد صلبة معلقة بشكل دقيق و/ أو ملوثات زيتية، نظراً لأنه يصعب معالجة مياه تحتوي على مواد ذات كثافة قريبة من كثافة المياه بطرق اقتصادية، خاصة في حالة تكون مستحلبات من المياه والزيت مما يستلزم وقت طويل جداً لإتمام عملية الفصل، وفي مثل هذه الحالات يمكن تسريع عمليات الفصل بالترسيب باستخدام تقنية التعويم أو الطفو، حيث يضخ هواء مضغوط أو غاز في المياه لإذابة أكبر كمية ممكنة من الهواء في المياه، وعند إزالة الضغط عن الماء يتحرر الهواء أو الغاز من الخليط مكوناً فقاعات ترتفع إلى السطح حاملاً معه جزيئات المواد الصلبة، أو الملوثات الزيتية.

تلتحم فقاعات الهواء بجزيئات الملوث، وتكفي قوة الطفو للجزيء المركب مع الهواء أو الغاز التي لها كثافة أعلى من الماء من أن تطفو إلى السطح، حيث يسهل إزالتها بطريقة الكشط "Skimming" (50). يبين الشكل (33) تكون فقاعات الهواء والتحامها مع جزيئات الملوثات (51).

الشكل (33): تكون فقاعات الهواء والتحامها مع جزيئات الملوثات



المصدر (51): DAF–dissolved air flotation: Potential applications in the mining and mineral processing industry, Universidad Federal do Rio Grande do Sul, July 2006.

1.5.2.8.2 التعويم بالهواء المذاب/ الغاز المذاب (DAF/DGF)

تستخدم طريقة التعويم بالهواء المذاب/ الغاز المذاب "Dissolved Air Flotation/Dissolved Gas Flotation (DAF/DGF)" في معالجة مياه الصرف الصناعي الناتجة من وحدات فصل الزيوت "API" الملحقة بمصافي التكرير والبتروكيماويات. تعمل هذه التقنية على خفض نسبة الملوثات من الزيوت بنسبة حوالي 95%، وخفض قيمة المواد الصلبة العالقة بنسب تتراوح ما بين 50-80 %. يكون معدل صرف وحدات المعالجة بطرق التعويم "DAF" في الغالب أعلى من 1000 م³/ساعة، ويتراوح زمن المكوث في حدود 30-40 دقيقة (53).

يتم ملازمة الهواء لمياه الصرف تحت ضغط عالي مما يعمل على إذابة الهواء في مياه الصرف، ثم يتم خفض الضغط على سطح المياه من خلال صمام خلفي ينتج فقاعات هواء تماثل حجم الميكرون بأحجام تتراوح ما بين 50-100 ميكرون. تلتصق بالهواء المواد العالقة، والزيوت، ثم تطفو إلى السطح بوحدة المعالجة، ثم بعد ذلك يتم كشط الرغوة المتكونة من على سطح المياه (52).

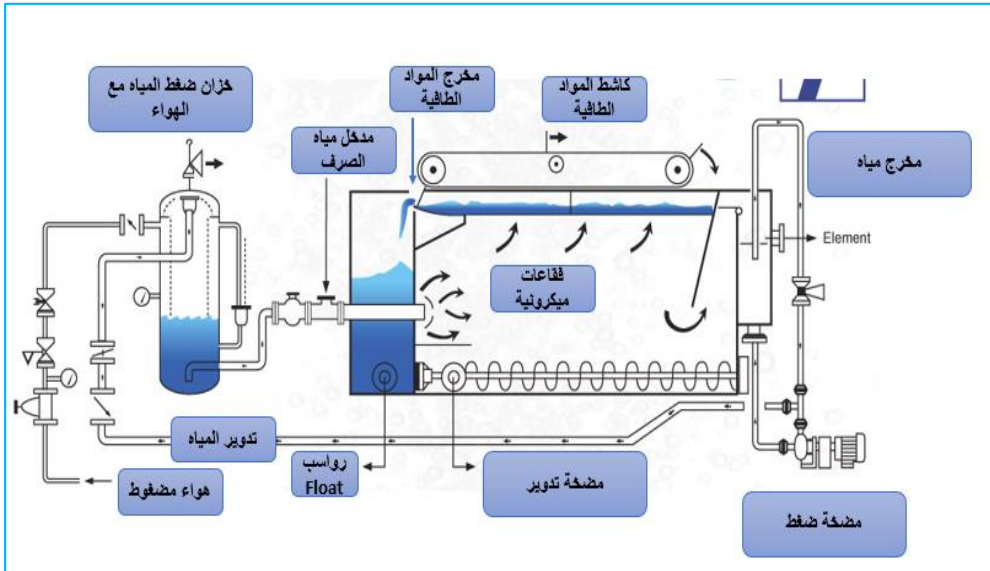
يبين الشكل (34) ميكانيكية عمل طريقة فصل الملوثات بطريقة الطفو بالهواء أو الغاز، كما يبين الشكل (35) مخطط عمل وحدة الطفو بالهواء أو الغاز. بينما يبين الشكل (36) نموذج لوحدات الطفو بالهواء في مصنع بتروكيماويات في سنغافورة بطاقة 1200 م³/ساعة.

الشكل (34): ميكانيكية التصاق فقاعات الهواء بالمواد العالقة وطفوها إلى السطح



المصدر: Petroleum Refinery, Ethylene and Gas Plant Wastewater Treatment Presentation, Siemens AG 2006

الشكل (35): مخطط عمل وحدة الطفو بالهواء المذاب "DAF"



المصدر: http://www.shanleypump.com/edur_dissolved_air_flotation_daf_pumps.html

الشكل (36): نموذج لوحات الطفو بالهواء في مصنع بتروكيماويات في سنغافورة بطاقة 1200 م³/ساعة



المصدر: https://www.nijhuisindustries.com/resources/uploads/bestanden/solutions/High-Rate-i-DAF_MAY-2016.pdf

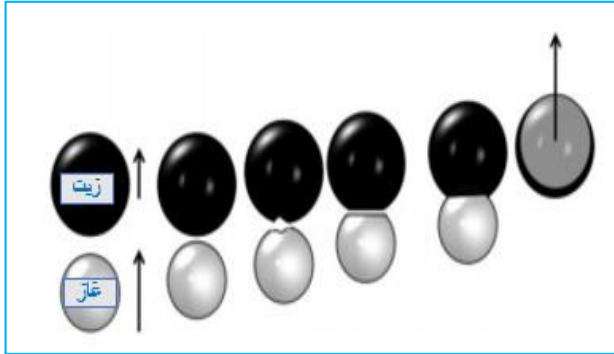
2.5.2.8.2. التعويم بالهواء المستحث "IAF", Induced Air Flotation

التعويم بالغاز المستحث "IGF", Induced Gas Flotation

تعتمد هذه الطريقة على تكون الغاز على شكل فقاعات صغيرة بحجم 1000 ميكرون أو أعلى، وانتشاره، بحيث تلامس هذه الفقاعات جزيئات الملوثات " الزيت"، ويحدث تصادم بين جسيمات الملوثات والفقاعات المتكونة لتشكل مجموعات من الرواسب. تضاف بعض مواد التوتر السطحي فتعمل على تقليل التوتر السطحي بينهما، وتقليل زاوية الاتصال التي تشكلت أثناء الاصطدام لتكون راسب يمكن فصله عن مياه الصرف الصناعي، يبين **الشكل (37)** آلية التعويم المستحث بالهواء (IAF) وتشمل خطوات الاصطدام، والالتصاق، وتشكيل فقاعات وطفوها على السطح، ثم كشطها **(58)**. يمكن إزالة نحو 75 % من الملوثات، بشرط عدم تكون

مستحلبات، وأن تكون نسبة تلوث الزيت أقل من 300 ج.ف.م.، غير أنها لا تصلح لفصل المواد الصلبة العالقة في تركيزات أقل من 100 ج.ف.م. (61).

الشكل (37): آلية تقنية التعويم المستحث بالهواء (IAF): الاصطدام، الالتصاق وتشكيل فقاعة على سطح الجسيمات.



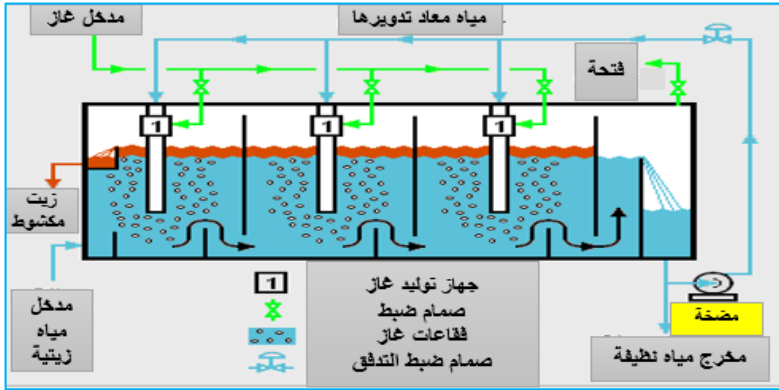
المصدر: Integration of processes induced air flotation and photo-Fenton for treatment of residual waters contaminated with xylene, Journal of Hazardous Materials, 199–200 (2012) 151–157

هناك طريقتان لعمل تقنية التعويم بالهواء أو الغاز المستحث وهما: الطريقة الهيدروليكية، والطريقة الميكانيكية.

1.2.5.2.8.2. التعويم بالغاز/الهواء المستحث الهيدروليكي

يتم في هذه الطريقة إعادة تدوير جزء من المياه العادمة الناتجة من حوض التعويم وضخه بواسطة مضخات عبر أنبوب داخلي إلى الحوض مره أخرى، يحتوي الأنبوب على جهاز توليد الغاز لتكوين فقاعات وخطها بمياه الصرف داخل حوض التعويم، ثم تتكون طبقة زيتية يتم كشطها من على السطح (60)، كما يبين الشكل (38).

الشكل (38): آلية عمل طريقة التعويم بالغاز المستحث الهيدروليكية

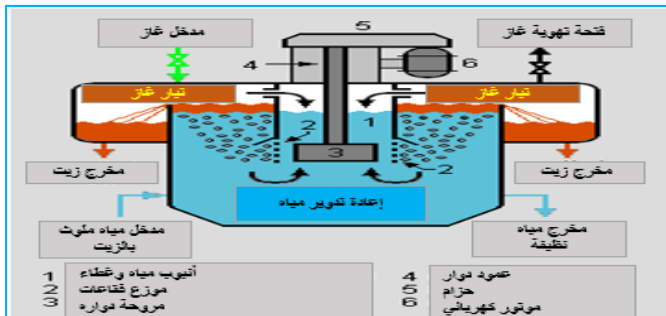


المصدر: http://en.citizendium.org/wiki/File:Hydraulic_IGF.png

2.2.5.2.8.2. التعويم بالغاز/الهواء المستحث الميكانيكي

يتم في هذه الطريقة تكوين دوامات من الغاز بواسطة مراوح "Impellers" داخل حوض التعويم، يتم تشغيلها بواسطة محرك كهربائي مثبتة على السطح الخارجي للحوض، حيث توجه دوامة الغاز إلى الحوض ويخلط مع الماء العادم لتكوين فقاعات داخل الحوض، لتتكون طبقة زيتية يتم كشطها خارج وحدة الطفو. يدور الغاز باستمرار داخل الحوض (60)، كما يوضح الشكل (39)، بينما يبين الشكل (40) وحدة التعويم بالهواء / الغاز المستحث في أحد وحدات المعالجة.

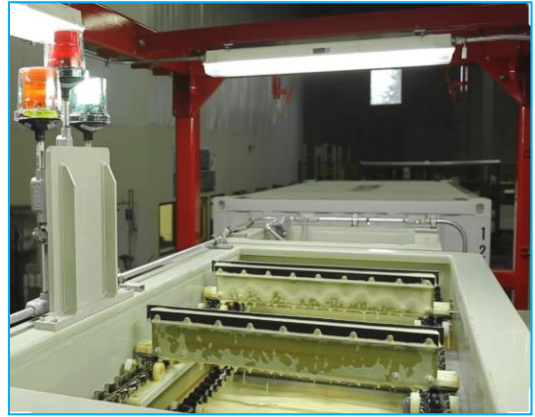
الشكل (39): آلية عمل طريقة التعويم بالغاز المستحث الميكانيكي



المصدر: http://en.citizendium.org/wiki/File:Hydraulic_IGF.png

تتميز طريقة التعويم بالغاز / الهواء المستحث الهيدروليكي بأنها لا تحتاج إلى مساحات كبيرة من الأراضي لتركيبها، كما أنها أقل من حيث تكلفة الإنشاء بشكل عام، وتتميز بانخفاض تكاليف التشغيل نسبياً، تستلزم وقت أقل في عمليات الصيانة الدورية مقارنةً بطريقة التعويم بالغاز المستحث الميكانيكي (60). يعيب طريقة الطفو بالحث إنتاج كميات كبيرة من الحماة، ولا تعمل بكفاءة في فصل مستحلبات الزيت، كما أنها ذات كفاءة محدودة في فصل المواد الصلبة العالقة (61).

الشكل (40): وحدة التعويم بالهواء / الغاز المستحث بأحد وحدات المعالجة



المصدر : <http://www.watertectonics.com/project/oil-de-emulsification-project>

6.2.8.2. فلتر قشور جوز الهند المفتتة Walnut Shell Filter

استخدمت الفلتر السريية "Bed Filtration" على نطاق واسع لإزالة ملوثات الزيت من المياه الزيتية الناتجة عن العمليات الصناعية، واختلفت المواد المستخدمة "الوسائط" في عمليات الترشيح وتنوعت، ولكن أكثر هذه المواد استخداماً هي: الرمل وبعد أرخص وسط للترشيح ويستخدم بشكل واسع في المرشحات الرملية حيث يستخدم رمل الكوارتز "Quartz"، أو الكوارتزيت "Quartzite" لهذا الغرض. يعد رمل الغارنيت "Sand Garnet" أو اللمينيات "Illuminate" من الوسائط المهمة المستخدمة في عمليات الترشيح، إلا أن كلفة هذا النوع من

الرمال مرتفعة نسبياً وتوافرها محدود، ويلحق بهذا النوع من الرمل **الماغنتيت "Magnetite"**. كما يستخدم **فحم الأنتراسيت "Anthracite"** أيضاً كبديل عن الرمال في بعض محطات الترشيح، وقد يستعمل مع الرمل ومواد أخرى كخليط للترشيح.

تستخدم المواد **السيلولوزية الطبيعية والصناعية** مثل أسيتات السيليلوز، ونترات السيليلوز، والقطن بشكل واسع في أغراض الترشيح الفائق. يستخدم أيضاً كل من السيراميك، والفخار غير المزجج، والفخار الصيني، والحجر الرملي، ويتم خلطها أحياناً مع الفضة لأغراض التعقيم، وتستخدم مواد أخرى مثل خبث الزجاج المكسور، والخامات المعدنية، وقشور جوز الهند الطبيعية المفتتة، وقشور الأرز المحروقة.

تتميز قشور جوز الهند الطبيعية المفتتة، والمستخدم كوسائط ترشيح بقدرتها القوية على الامتصاص، والصلابة العالية، والمقاومة الجيدة للتآكل، والثبات الكيميائي حيث لا تذوب في المحاليل الحامضية أو القاعدية. كما يمكن الحصول عليها بسهولة ومن مجموعة واسعة من المصادر، بالإضافة إلى أنه من السهل أن يتم تجديدها وإعادة استخدامها بعد غسلها (62-64). يبين **الجدول (19)** مقارنة بين قشور جوز الهند الطبيعية المفتتة، ورمال السيليكا المستخدمة كوسائط في عمليات الترشيح (64).

جدول (19): مقارنة بين قشور جوز الهند المفتتة، ورمال السيليكا المستخدمة كوسائط في عمليات الترشيح

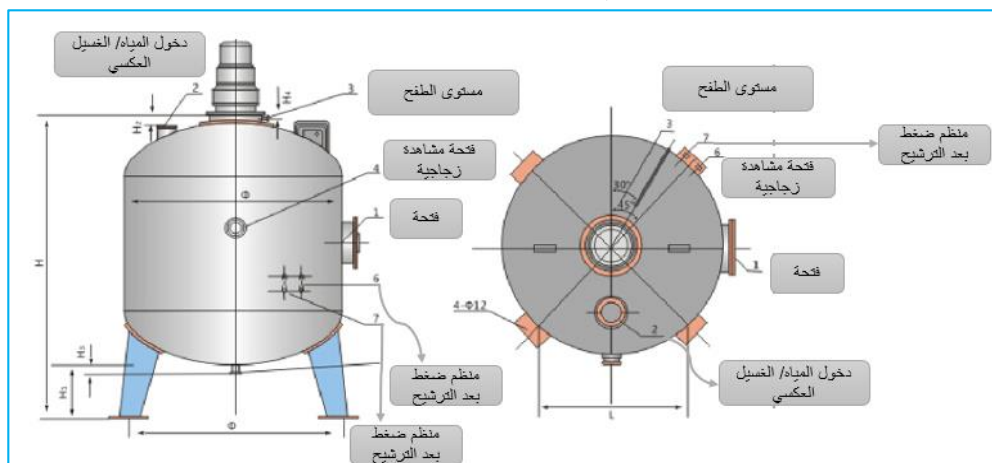
الوسائط المستخدمة	رمال السيليكا	قشور جوز الهند المفتتة
معدل إزالة الزيت %	50-40	93-82
معدل إزالة المواد العالقة %	65-50	96-85
سرعة الترشيح (م ³ /س)	12-8	30-23
مدة الصلاحية للاستخدام	يستبدل كل 2-3 عام	يضاف 10 % كل عام

المصدر: Crushed Walnut Shells, <https://walnutshellpowder.wordpress.com/tag/walnut-shell-filter-media/>.

يتكون نظام الترشيح أساساً من نظام التصفية، ونظام الغسيل، ونظام التحكم (أحدهما آلي والآخر يدوي). عند الترشيح، يكون تدفق مياه الصرف من أعلى إلى أسفل، مروراً بموزع المياه "Water distributor"، ووسائط الترشيح السريية، ومجمع المياه "Water collector". تهدف عملية الغسيل العكسي "Backwashing" إلى التخلص من المواد العالقة والتي تخرت، وترسبت على سطوح حبيبات الرمل وأدت إلى انسداد المسامات وبالتالي إعاقة مرور الماء، وزيادة فاقد الضغط "Drop Pressure".

في عملية الغسيل العكسي يقوم المحفز بتحريك قشور الجوز، ويكون تدفق المياه من أسفل إلى أعلى، مما يعمل على إعادة تجديدها بالكامل ليتمكن إعادة استخدامها مرة أخرى. يمكن استخدام الهواء كمساعد لماء الغسيل العكسي حيث يتم ادخال تيار هوائي من خلال شبكة من الأنابيب تتحرك في الجزء السفلي من المرشح لتحريك حبيبات الرمل "أوساط الترشيح" واحتكاكها. **يبين الشكل (41)** مخطط المكونات الرئيسية لنظام الترشيح باستخدام قشور جوز الهند الطبيعية المفتتة، بينما **يبين الشكل (42)** مخطط المكونات الرئيسية لنظام الترشيح باستخدام قشور جوز الهند الطبيعية المفتتة.

الشكل (41): مخطط المكونات الرئيسية لنظام الترشيح باستخدام قشور جوز الهند الطبيعية المفتتة



Crushed Walnut Shells, <https://walnutshellpowder.wordpress.com/tag/walnut-shell-filter-media/>: المصدر

الشكل (42): وحدة ترشيح مركبة بنظام قشور جوز الهند الطبيعية المفتتة



المصدر: <https://walnutshellpowder.wordpress.com/tag/walnut-shell-filter-media/>

تستخدم طريقة الترشيح باستخدام قشور جوز الهند الطبيعية المفتتة في المصانع التي لا تحتوي على وحدات معالجة أخرى مثل المعالجة البيولوجية، ولديها قيود مشددة لتصريف المياه الملوثة بالزيت بتركيزات أعلى من 100 ج.ف.م. وتهدف إلى الحصول على مياه معالجة بتركيزات منخفضة من الزيت تتراوح ما بين 5-10 ج.ف.م.، وتعد التركيزات المنخفضة من الزيت في المياه المعالجة أحد أهم مميزات هذه الطريقة، بينما يعيبها أنها طريقة غير جيدة لفصل المواد الصلبة العالقة، فضلاً عن ارتفاع التكلفة الاستثمارية نسبياً للوحدة (61).

7.2.8.2. طريقة المعالجة بالتعادل Neutralization

تعد عملية المعالجة بالتعادل أحد طرق المعالجة الكيميائية الأولية، والغرض منها هو معادلة النفايات السائلة الناتجة عن العمليات الصناعية، سواء كانت حامضية أو قاعدية، وذلك عن طريق إضافة بعض المواد الكيميائية المناسبة قبل صرفها على المصارف العمومية، أو إعادة استخدامها حيث تتطلب معظم التشريعات البيئية أن يتراوح رقم الأس الهيدروجيني ما بين

6-9 قبل الصرف النهائي على المسطحات المائية. تستخدم هذه الطريقة أيضاً لتهيئة مياه الصرف للمعالجة البيولوجية التي تستلزم رقم أس هيدروجيني معين لإتمامها، حيث يتم معالجة مياه الصرف الصناعي الحامضية بإضافة محلول قلوي، في حين تتم معالجة مياه الصرف القلوية بإضافة محلول حامضي.

تعتبر المعالجة بطريقة التعادل من أقدم الطرق الكيميائية، وأكثرها استعمالاً في معالجة مياه الصرف الحامضية، والقلوية، وتعد عملية ضبط رقم الأس الهيدروجيني من المراحل الهامة في معالجة مياه الصرف الصناعي، حيث أن مياه الصرف الصناعي زائدة الحامضية أو القاعدية غير مرغوب فيها. يبين الشكل (43) مخطط عملية التعادل لمياه الصرف الصناعي (65).

الشكل (43): مخطط عملية التعادل لمياه الصرف الصناعي



المصدر: Waste Neutralization, <http://www.tectrapro.com/wp-content/uploads/waste.pdf>

تستخدم العديد من المواد الكيميائية التي تختلف من حيث الكفاءة، والتكلفة في عمليات التعادل، يعد الجير الحي "أكسيد كالسيوم" من أكثر المواد المستخدمة في عمليات التعادل وذلك لانخفاض سعره، غير أن استخدام الجير الحي "الصلب" في عمليات التعادل يكون بطيئاً

جداً في التفاعل، ويكون رواسب غير قابلة للذوبان مثل كبريتات الكالسيوم . على الرغم من أن كربونات الصوديوم، وهيدروكسيد الصوديوم، والأمونيا أكثر كلفة، إلا أنها تتميز بتفاعلها السريع مع الأحماض مقارنة بالجير الحي، كما أنها سريعة الذوبان في الماء لذلك فإن عمليات التداول والتغذية تكون مناسبة، خاصة في المعدات التي تعمل أوتوماتيكياً.

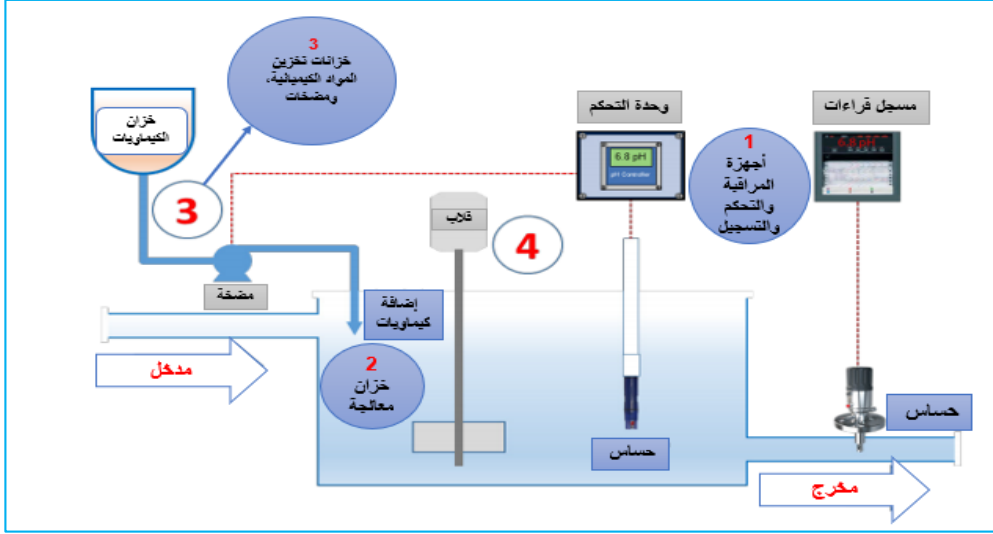
بينما تتم معادلة مياه الصرف الصناعي القلوية باستخدام حامض الكبريتيك، أو بالأحماض الناتجة من عمليات أخرى، ويمكن أيضاً الاستفادة من الغازات المتسربة مثل غاز ثاني أكسيد الكربون ليكون حمض الكربونيك عند امتزاجه بالماء (66). يعتمد اختيار المادة القلوية المستخدمة على حجم مياه الصرف الصناعي، وقيم وتقلبات رقم الأس الهيدروجيني للمياه، بالإضافة إلى تكلفة مادة التعادل المستخدمة.

تحتاج مياه الصرف ذات القلوية المرتفعة إلى المعالجة باستخدام حمض الكبريتيك، أو حمض الهيدروكلوريك، أو الغازات المتسربة المحتوية على ثاني أكسيد الكربون. وعادة ما تتم عملية المعادلة على مرحلتين، فيتم أولاً التعادل باستخدام المواد الكيميائية قليلة التكلفة، ثم تتم عملية التعادل النهائية، والتي غالباً ما تتم باستخدام أجهزة تحكم لإضافة الصودا الكاوية، أو حامض الكبريتيك (67).

يتكون نظام معادلة رقم الأس الهيدروجيني "وحدة المعالجة" من أربع مكونات أساسية، كما يبين الشكل (44) (68).

1. أجهزة المراقبة والتحكم والتسجيل.
2. خزان معالجة مياه الصرف الصناعي.
3. خزانات تخزين المواد الكيميائية، والمضخات.
4. قلاب "Agitator".

الشكل (44): المكونات الرئيسية لوحدة المعالجة بطريقة التعادل



المصدر: pH Neutralization in Industrial Wastewater

تندفق مياه الصرف الصناعي إلى خزان معالجة مياه الصرف الصناعي، الذي يحتوي على وحدة التحكم في الأس الهيدروجيني، ملحق بها جهاز استشعار للأس الهيدروجيني لقياس الرقم الهيدروجيني للمياه. كما تحتوي الوحدة أيضاً على نقطة معيارية مضبوطة مسبقاً للمخلفات السائلة، وتستخدم هذه القيمة لتحديد ما إذا كانت النفايات السائلة تتوافق مع تلك النقطة المحددة أم لا، وفي حالة اختلافها تعمل المضخة الكيميائية على حقن المحاليل القلوية، أو الحامضية لإتمام عملية التعادل. يعمل القلاب على ضمان تجانس المياه المعالجة بشكل مناسب وصحيح، لقياس رقم الأس الهيدروجيني في الخزان مباشرةً، يبين **الشكل (45)** وحدة معالجة مياه الصرف الصناعي بطريقة التعادل.

الشكل (45): وحدة معالجة مياه الصرف الصناعي بطريقة التعادل



المصدر: Case Study Neutralization of Alkaline Wastewater
<http://www.fuchs-germany.com/en/wastewater/case-studies/neutralization-of-alkaline-wastewater/example>.

9.2. المعالجة الثانوية "Secondary Treatment"

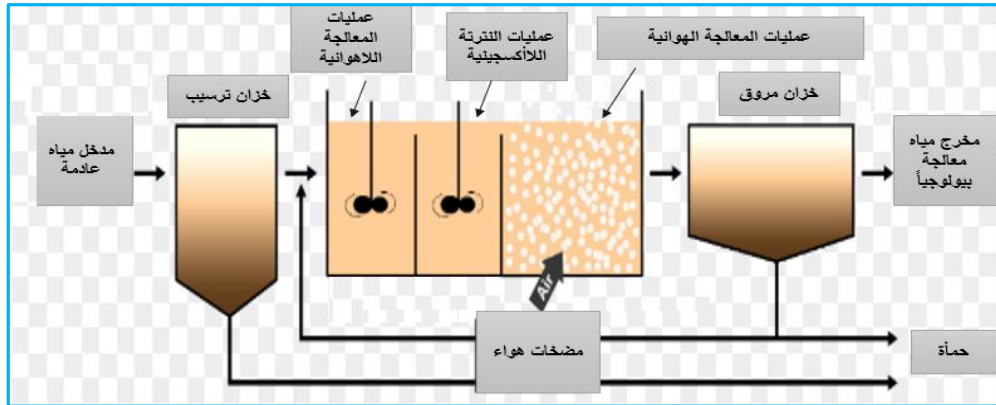
تأتي المعالجة الثانوية أو ما يطلق عليها المعالجة البيولوجية بعد انتهاء مراحل المعالجة الأولية " التمهيدية"، والابتدائية، وتعد جزء هاماً ومتكاملاً في محطات معالجة مياه الصرف الصناعي. يمكن إزالة أكثر من 90 % من المواد العضوية الموجودة في المياه العادمة بطرق المعالجة البيولوجية المختلفة، كما يتم إزالة المواد العضوية الذائبة، التي قد تكون تبقت من طرق مرحلة المعالجة الأولية.

1.9.2. المعالجة البيولوجية " Biological Treatment "

عمليات المعالجة البيولوجية تقوم بها مجموعات من الأجسام، والكائنات الحية الدقيقة التي تستهلك المواد العضوية كغذاء لها، وتحولها إلى النواتج النهائية لعمليات الأيض، وهي ثاني أكسيد الكربون، والماء، والطاقة الضرورية لنمو الجراثيم وتكاثرها.

تنقسم المعالجة البيولوجية إلى أربع مجموعات رئيسية، هي: العمليات الهوائية، وعمليات النترة اللاأكسجينية "Nitrification Anoxic"، والعمليات اللاهوائية، والعمليات الهوائية والنترة اللاأكسجينية أو الهوائية واللاهوائية، كما يوضح الشكل (46).

الشكل (46): المجموعات الرئيسية للمعالجة البيولوجية



المصدر: http://www.unisense.com/industrial/wastewater_treatment_plants/

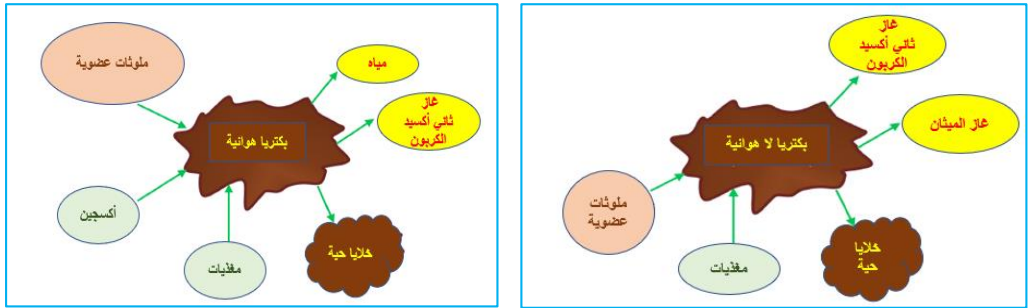
يتلخص أهم أعمال عمليات المعالجة البيولوجية فيما يلي:

1. إزالة المحتوى البيولوجي الكربوني "Carbonaceous".
2. تحويل الأمونيا، أو النيتروجين العضوي إلى نترات.
3. تحويل النترات إلى نيتروجين يتطاير إلى الجو " نزع النيتروجين".
4. تحويل المادة العضوية في الحمأة الناتجة عن عمليات المعالجة الفيزيائية، والبيولوجية إلى غازات وأنسجة خلوية (التثبيت) (75).

تتميز طرق المعالجة البيولوجية عن طرق المعالجة الأخرى مثل الأكسدة الحرارية، أو الأكسدة الكيميائية، بانخفاض التكاليف الاستثمارية الرأسمالية، وتكاليف التشغيل، وأصبحت جزءاً هاماً من طرق المعالجة المتكاملة في صناعة البتروكيماويات.

يمكن أن تكون عمليات المعالجة البيولوجية هوائية، أو لا هوائية حسب البكتيريا الحيوية المستخدمة، وكل نوع له سلالاته الخاصة من البكتيريا الدقيقة (هوائية أو لا هوائية)، ذات مواصفات تختلف عن النوع الآخر. والهدف في كلتا الطريقتين، هو تحويل المكونات العضوية في الماء الملوث إلى مواد أخرى ثابتة وهي إما غازات "غاز الميثان، وغاز ثاني أكسيد الكربون" تجد مسارها إلى الغلاف الجوي"، أو خلايا حية "يمكن إزالتها بالترسيب"، أو مواد صلبة عالقة من جراء عمليات التخثر الناتجة عن الأنزيمات التي تنتجها الكائنات الحية الدقيقة (ويمكن إزالتها بالترسيب). تعتمد طريقة المعالجة الهوائية على تنشيط البكتيريا الموجودة بالملوثات وتوفير التهوية اللازمة لها، وإمدادها بالمواد الغذائية، أما طريقة المعالجة اللاهوائية فتعتمد على حقن مكان التلوث بكمية معينة من البكتيريا المتخصصة بعد اختبارها بالمعمل وتنشئتها، وتنميتها قبل إضافتها. يبين الشكل (47) مخطط طرق عمل المعالجة البيولوجية الهوائية واللاهوائية (69).

الشكل (47): مخطط طرق عمل المعالجة البيولوجية الهوائية واللاهوائية



المصدر: Biological Wastewater Treatment, Water Today | August – 2011: (69)

نظراً لارتفاع تركيزات المواد العضوية في المياه العادمة، فإنه ليس من الضروري أن تكون طرق المعالجة البيولوجية هوائية في طبيعتها أو أن تتم خلال مرحلة واحدة فقط لتحقيق

المعالجة المطلوبة، لذا فقد يلزم استخدام طرق المعالجة اللاهوائية قبل تطبيق طرق المعالجة الهوائية للتخلص الجزئي شبه التام من المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي، وتتميز المعالجة البيولوجية اللاهوائية بما يلي:

1. كمية الحمأة الناتجة أقل بحوالي عشر مرات عن كمية الحمأة الناتجة من المعالجة الهوائية.
 2. انخفاض كميات استهلاكات الطاقة من الكهرباء حيث لا تحتاج المعالجة اللاهوائية إلى مضخات لضخ الهواء كما في طرق المعالجة الهوائية.
 3. تتمتع بالقدرة على معالجة مياه الصرف الصناعي التي تحتوي على كميات مرتفعة من طلب الأكسجين الكيميائي "COD" أعلى من 1000 ملغرام/ليتر.
 4. تنتج كميات من غاز الميثان كمنتج ثانوي للمعالجة اللاهوائية، يمكن استخدامه كبديل عن الغاز الطبيعي في تشغيل المراجل أو المولدات أو المحركات.
 5. تحتاج بكتريا المعالجة اللاهوائية إلى كميات أقل من المغذيات (أزوت، فسفور، ...) مقارنة بالمعالجة الهوائية.
 6. تتطلب المعالجة اللاهوائية مساحات أقل من الأراضي مقارنة بالمعالجة الهوائية.
 7. تحتاج أنظمة المعالجة البيولوجية اللاهوائية إلى تكاليف تشغيل أقل، نظراً لانخفاض كميات المغذيات، واستهلاكات الكهرباء، وكميات الحمأة المتكونة.
- بينما تتميز المعالجة الهوائية بانخفاض الزمن اللازم لعملية المعالجة والذي يتراوح ما بين 6 - 7 أيام مقارنة بزمان عمليات المعالجة البيولوجية اللاهوائية والذي يتراوح ما بين 20-30 يوم. وفي حالة ارتفاع نسب الملوثات العضوية، فإنه من الضروري أن يكون هناك مزيج من عمليات المعالجة الهوائية واللاهوائية للحصول على نتائج مثالية لمعالجة المياه العادمة المحتوية على تركيزات مرتفعة نسبياً من الملوثات (69، 71). يبين الجدول (20) مقارنة عامة بين المعالجة البيولوجية الهوائية واللاهوائية (69).

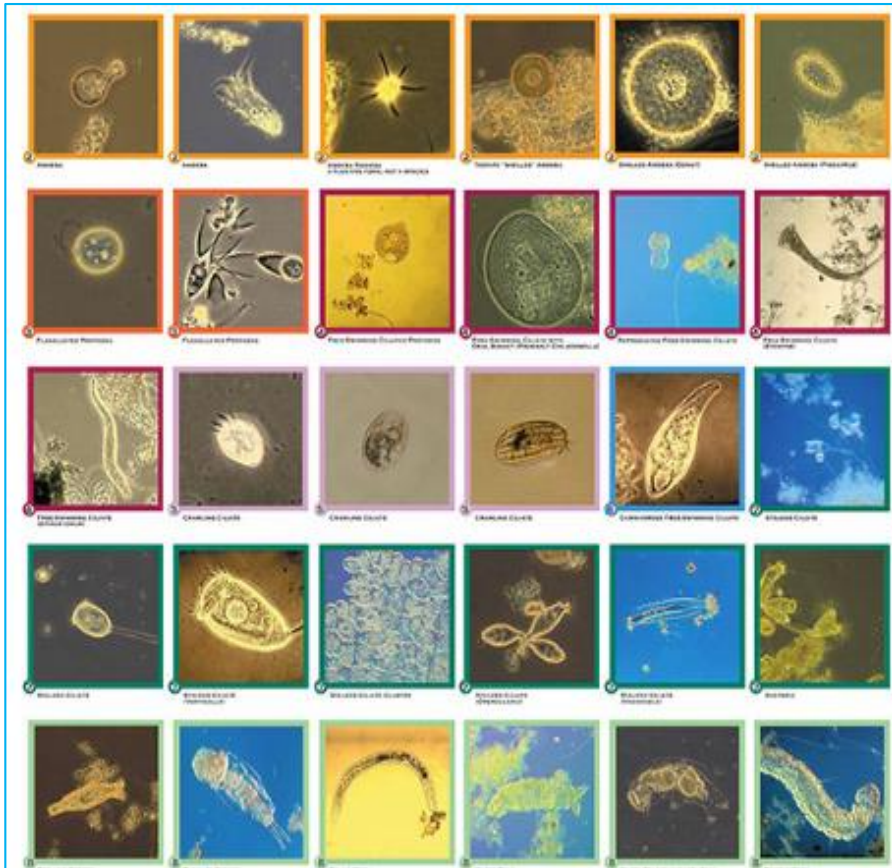
جدول (20): مقارنة بين عمليات المعالجة الهوائية واللاهوائية.

المعاملات	المعالجة الهوائية	المعالجة اللاهوائية
Parameter		
مبدأ العملية Process Principle	<p>✓ تحدث التفاعلات الميكروبية في وجود الأكسجين.</p> <p>✓ مخرجات التفاعلات: ثاني أكسيد الكربون، والميثان، خلايا حية.</p>	<p>✓ تحدث التفاعلات الميكروبية في غياب الأكسجين.</p> <p>✓ مخرجات التفاعلات: ثاني أكسيد الكربون، والماء، وخلايا حية.</p>
التطبيق Application	<p>✓ مياه الصرف ذات التركيزات المنخفضة، أو المتوسطة من الشوائب العضوية ($COD < 1000$ جزء في المليون).</p> <p>✓ مياه الصرف الصناعي المحتوية على ملوثات قابلة للتحلل بسهولة مثل مياه الشرب، والصرف الصحي الغنية بالنشا / السكر / الكحول.</p>	<p>✓ مياه الصرف ذات التركيزات المنخفضة، أو المتوسطة من الشوائب العضوية ($COD > 1000$ جزء في المليون).</p> <p>✓ مياه الصرف الصناعي المحتوية على ملوثات يصعب تحليلها بيولوجياً مثل المياه العادمة لمصافي التكرير وصناعة البتروكيماويات.</p>
الطاقة الحركية للتفاعل Reaction Kinetic	✓ سريعة نسبياً.	✓ بطيئة نسبياً.
صافي ناتج الحمأة Net Sludge Yield	✓ مرتفعة نسبياً.	✓ منخفضة نسبياً (حوالي من خمس إلى عشر ناتج عمليات المعالجة الهوائية)
ما بعد المعالجة Post Treatment	✓ يتم الصرف مباشرة، أو يلزم عمليات أخرى "ترشيح، وتطهير".	✓ يلزم لها معالجات هوائية لاحقة
المساحة اللازمة للوحدة Foot Print	✓ كبيرة نسبياً.	✓ صغيرة نسبياً، ووحدة المعالجة صغيرة الحجم
التكلفة الاستثمارية Capital Investment	✓ مرتفعة نسبياً.	✓ منخفضة نسبياً، مع سرعة استرداد رأس المال
أمثلة للتكنولوجيا Example Technologies	<p>✓ عملية الحمأة المنشطة التقليدية Conventional Activated Sludge Process "CASP"</p> <p>✓ نظام الحمأة المنشطة المتتابع Cyclic Activated Sludge System "CASS"</p> <p>✓ نظام الحمأة المنشطة المتكامل ذو الغشاء الثابت Integrated Fixed Film Activated Sludge "IFAS"</p> <p>✓ المفاعل الحيوي بنظام السريبر المتحرك Moving Bed Bioreactor "MBBR"</p> <p>✓ المفاعل الحيوي بنظام الغشاء Membrane Bioreactor "MBD"</p> <p>✓ الترشيح الهوائي البيولوجي Biological Aerated Filter "BAF"</p> <p>✓ خنادق الأكسدة "Oxidation Ditch"</p>	<p>✓ خزانات أو مفاعلات ذات تقليب مستمر.</p> <p>✓ البحيرات اللاهوائية،</p> <p>✓ والهضم اللاهوائي</p>

1.1.9.2. الحمأة المنشطة

الحمأة المنشطة عبارة عن خليط من الكائنات الدقيقة من البكتيريا، والطحالب والفطريات، والكائنات الأولية، والجراثيم، والخلايا، كما في **الشكل (48)**، التي يتم الاحتفاظ بها في صورة معلقة عن طريق التهوية والخلط **(74)**.

الشكل (48): بعض أشكال من مكونات الحمأة المنشطة من الكائنات الدقيقة



المصدر: Chart of Common Activated Sludge Microorganisms

تعتبر هذه الطريقة من أكثر الطرق شيوعاً في الوقت الحاضر بسبب فاعليتها العالية في المعالجة وسميت بهذا الاسم لأنه يتم إعادة جزء من الحمأة المترسبة في أحواض الترسيب

الثانوية إلى حوض التهوية وذلك بشكل مستمر، وهذا يساعد على تسريع العملية البيولوجية وزيادة كفاءتها بسبب زيادة كثافة الكتلة الحيوية في حوض التهوية وبالتالي زيادة معدل الأكسدة، وتفكيك المواد العضوية إلى مكوناتها الأساسية، وتدخل المياه المعالجة إلى أحواض التهوية بعد مرورها على أحواض الترسيب الأولية.

يوصف نظام الحمأة المنشطة بأنه نظام يقوم على خلط المياه العادمة المناسبة إلى خزان التهوية مع الحمأة المنشطة المتواجدة فيه بصورة عالققة. يطلق على السائل الناتج من عملية الخلط هذه بالسائل المختلط أو ما يطلق عليه مصطلح "Mixed Liquor". يمتاز هذا السائل في حالة المعالجة السليمة بلون يميل إلى اللون البني.

هذا وقد تطورت أنظمة الحمأة المنشطة، من أسلوب التشغيل الكتلتي "Batch System" في بداية الأمر إلى أسلوب التشغيل المستمر "Continuous Flow Reactor"، والذي أصبح الأسلوب السائد في السنوات اللاحقة وذلك لسهولة تشغيله مقارنة بالنوع الأول (79).

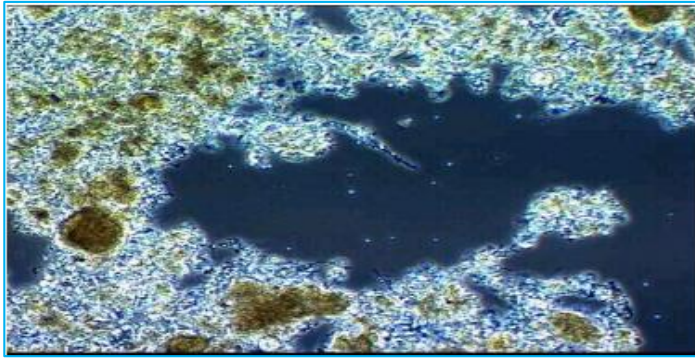
تلعب الجراثيم الهوائية في هذا النظام مهمة تحطيم المادة العضوية الموجودة في المياه العادمة، وتحويلها هوائياً إلى ماء، وثاني أكسيد الكربون، وخلايا بكتيرية جديدة. وتنتهي البيئة الهوائية داخل الخزان بواسطة أنابيب نفث الهواء أو الهوايات "المهويات" الميكانيكية، والتي تقوم بالإضافة إلى ذلك بالإبقاء على استمرارية عملية الخلط.

بعد انقضاء فترة وجيزة من الخلط (٤-٨ ساعات تقريباً) ينتقل السائل المختلط إلى حوض الترسيب الثانوي بهدف فصل الجراثيم عنه عن طريق ترسيبها. ثم يُعاد جزء من الجراثيم المترسبة "ويطلق عليها عادة بالحمأة المنشطة المسترجعة" إلى حوض التهوية مره أخرى للمحافظة على أعداد ثابتة منها داخله، ويلقى الباقي خارج النظام ليُعاد معالجته قبل التخلص النهائي منه. ويتوقف مستوى الجراثيم داخل خزان التهوية على كفاءة المعالجة المطلوبة وعوامل أخرى تتعلق بمعدلات نمو الجراثيم نفسها.

لا تقتصر مهمة المعالجة على قيام الجراثيم بهضم المادة العضوية فقط، بل تتعداها إلى كيفية التخلص من هذه الجراثيم الناتجة عن عمليات المعالجة، أو بعبارة أدق كيفية فصل الجراثيم من المياه الخارجة من خزان التهوية، ونظراً لكون الوزن النوعي للجراثيم أكثر قليلاً من الماء، فإن إمكانية ترسيبها بصورة فردية يكون بطيئاً، لذا فإن إعطاء الجراثيم فترة مكوث "Residence Time" كافية يتيح لها التلاحم والتجمع مع بعضها البعض مكونة ما يطلق عليه ندف (شوائب) كبيرة كما في **الشكل (49)**، وهذا بدوره يُحسن كثيراً من خصائصها الترسيبية. يعزى سبب هذا التلاحم إلى البوليـمرات المخاطية التي تفرزها الجراثيم حول خلاياها عند إعطائها الوقت الكافي للمكوث. وتتراوح فترة مكوث الجراثيم المتوسطة والتي تضمن الترسيب الفعّال حوالي 3 إلى 4 أيام **(75)**.

تكون تصميمات أشكال خزانات الترسيب في نظام الحمأة المنشطة إما مستطيلة أو دائرية، وفي جميع الحالات يتم التخلص من الحمأة من قاع الخزان ميكانيكياً، إما عن طريق كشط الحمأة إلى حوض مركزي كما في خزانات الترسيب الأولية، أو بواسطة شفطها مباشرة بواسطة خراطيم شفط معينة تتحرك على كامل الخزان.

الشكل (49): ترسبات مكونة من تكتلات شوائب بالمعالجة البيولوجية



المصدر: http://www.ohiowea.org/docs/Activated_Sludge_Microbiology_Seman.pdf

2.1.1.9.2. الهضم الهوائي "Aerobic Digestion"

معالجة الحمأة بالهضم الهوائي عبارة عن إجراء عملية تهوية مستقلة للحمأة في خزان مفتوح أو مغلق عن طريق توفير قدر مناسب من الأكسجين المذاب / الهواء في الحمأة، وتهدف هذه الطريقة في المعالجة إلى تخليص الحمأة من أية روائح كريهة، بالإضافة إلى خفض نسب التلوث بالمواد الصلبة بها قبل التخلص النهائي منها.

والهضم الهوائي هو أسلوب من أساليب المعالجة بالحمأة المنشطة بنظام الخلط الكامل، وبتغذية على دفعات أو مستمرة، حيث يتم تهوية المحتويات لمدة تتراوح ما بين 12-22 يوم حسب نوعية الحمأة، لتقوم الكائنات باستهلاك الغذاء أثناء عملية التهوية، وبالتالي يتناقص، وتبدأ الكائنات بهضم خلاياها الذاتية لتعويض الطاقة، وتحويل الخلايا إلى ثاني أكسيد الكربون، وماء، وأمونيا، لتتحول الأمونيا في وقت لاحق إلى نيترات مع استمرار عملية التخمر (الهضم). يؤدي استمرار التهوية والهضم إلى سهولة فصل المواد الصلبة من المياه، ويختلف تصميم الهواضم الهوائية من حيث وجود خزان ترسيب من عدمه. تستخدم بعض تصاميم التغذية على دفعات، حيث يتم تهويتها وخلطها لعدة أيام، ومن ثم ترسب عند وقف عملية الخلط، وتفصل الحمأة عن المادة الطافية "Supernatant" في نفس الخزان. تبنى برك التخمر إما مستطيلة أو دائرية، وتتم عملية التهوية بطريقة ميكانيكية أو بواسطة ناشرات الهواء، وقد يستخدم الأكسجين في عملية التهوية، ويتم إرسال المادة الطافية إلى المعالجة الأولية أو الثانوية، ولا يؤدي ذلك إلى حمل إضافي على مراحل المعالجة (75).

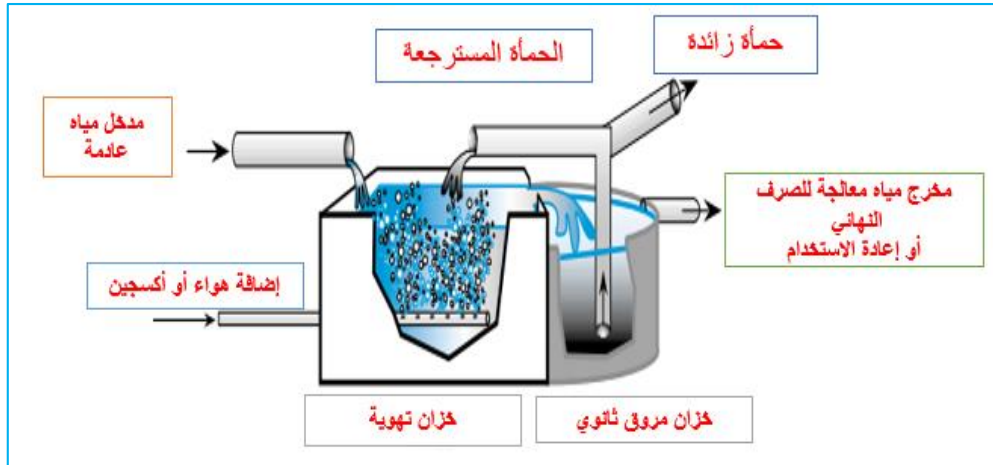
2.1.1.9.2. طريقة الحمأة المنشطة التقليدية

استخدمت طريقة المعالجة الهوائية بالحمأة المنشطة التقليدية "Conventional Activated Sludge Process-CASP" لأكثر من قرن من الزمان، يُعرف عادة النظام التقليدي الأساسي من أنظمة الحمأة المنشطة، بنظام المفاعل دائم الخلط، مستمر الدفق ومسترجع الحمأة "Activated Tank Stirred Flow- continuous – sludge with"

"Recycle"، ويتكون من خزان التهوية، وخزان الترسيب الثانوي، وخط تدوير الحمأة، ونموذج الدفع المستعمل في خزان التهوية هو النموذج التدفعي أو المتوالي، "Plug Flow"، أي أن شرائح المياه العرضية المناسبة من المدخل إلى المخرج تتدافع الواحدة تلو الأخرى دون أن تختلط مع بعضها.

يتم وضع المياه العادمة والحمأة المسترجعة إلى مقدمة الخزان وتمكث فيه مدة 6 ساعات تقريباً، أثناء ذلك يختلطان مع بعضهما بفعل أنابيب نفث الهواء أو الهوايات الميكانيكية، بطريقة تضمن توزع الهواء بصورة متساوية على طول الخزان. وخلال جريان المياه في الخزان يجري تحطيم وأكسدة المادة العضوية. بعد خروج السائل المختلط يتم ترسيبه في خزان ترسيب الحمأة، وعمر الحمأة عموماً أقل من 15 يوماً، وعادة ما يكون أفضل عمر لها خلال فترة تتراوح ما بين 3-10 أيام، يسترجع حوالي ما بين 25-50 % من الحمأة إلى مقدمة خزان التهوية (74،75). يبين الشكل (50) المكونات الأساسية لنظام المعالجة بالحمأة المنشطة.

الشكل (50): المكونات الأساسية لنظام المعالجة بالحمأة المنشطة



Explaining the Activated Sludge Process: المصدر

http://www.nesc.wvu.edu/pdf/WW/publications/pipline/PL_SP03.pdf

هذا وقد ظهرت الحاجة إلى طرق بيولوجية أكثر تقدماً للحصول على جودة أعلى للتدفقات السائلة الخارجة بهدف تلبية الاشتراطات البيئية الصارمة والمتزايدة للسماح بصرف المياه المعالجة على المصارف العمومية، أو إعادة استخدامها في الاستخدامات الصناعية، والاستخدامات الأخرى من حيث محتواها من طلب الأكسجين الكيميائي الحيوي "BOD"، ونسب المغذيات من النتروجين والفسفور.

وعلى ذلك فإنه لضمان الوفاء بتحقيق تلك المعايير البيئية الصارمة، فإن بعض التعديلات المختلفة يتم إضافتها إلى التصميم الأساسي لمحطات المعالجة التي تعمل بطريقة الحماة المنشطة التقليدية، وتشمل بعض التعديلات على تصميمات وحدات المعالجة المساعدة، وأحواض الترسيب، وغيرها من المرافق.

تطورت هذه الطرق لتشمل طريقة الحماة المنشطة متدرجة التهوية " Tapered

"Aeration"، وطريقة الحماة المنشطة ممتدة (موسعة - مطولة) التهوية "Extended Aeration"، وطريقة قنوات (خنادق) الأكسدة "Oxidation Ditches"، وطرق التثبيت التلامسي، لتشمل طرق أكثر تطوراً وتعديلاً في تصميمات المفاعلات الحيوية مثل طريقة المفاعلات ذات الدفقات المتتابعة "Sequencing Batch Reactors, (SBR)"، ونظام المعالجة بطريقة السرير المتحرك "Moving Beds"، ومفاعلات الأغشية الحيوية "Membrane Bioreactors" (69-73).

1.2.1.1.9.2. طريقة الحماة المنشطة متدرجة التهوية

تعتمد طريقة الحماة المنشطة متدرجة التهوية "Tapered Aeration" على إعطاء كمية من الهواء تتناسب مع حاجة الكائنات الدقيقة لها أثناء انسياب السائل المختلط على طول الخزان، ولهذا فإن هذا النظام يغير فقط في أماكن توزيع أنابيب نفث الهواء بحيث تعطي الكمية المطلوبة للحماة على طول الخزان، وبذلك يمكن اعتباره تحسين بسيط على نظام الحماة المنشطة التقليدي.

عند مدخل خزان التهوية حيث تخطط المياه العادمة مع الحمأة المسترجعة "المدورة" يكون استهلاك الأكسجين عالياً، لذلك توضع ناشرات الهواء قريبة من بعضها البعض لتفي بحاجة الكائنات الحية الدقيقة من الهواء في هذه المنطقة من الخزان. ومع جريان السائل المختلط في الخزان تزداد أعداد الكائنات الحية الدقيقة ويقل الغذاء، وبذلك تقل نسبة الغذاء إلى الكائنات الدقيقة فيقل استهلاك الأكسجين، ولذا توضع ناشرات الهواء على مسافات متباعدة للتقليل من كمية الأكسجين المضاف. كما في الشكل (51).

الشكل (51): ناشرات الهواء في نظام التهوية المتدرجة



المصدر: Tank Aeration Diffuser

يتميز هذا النظام من طرق المعالجة البيولوجية بتقليل كمية الأكسجين المضافة، وبذلك يتم توفير عدد مضخات الهواء المستخدمة، مما يعمل على خفض تكاليف التشغيل، بالإضافة إلى تجنب زيادة التهوية، وهذا يؤدي إلى منع نمو جراثيم النترتة والتي تستهلك كميات إضافية من الأكسجين (75).

2.2.1.1.9.2. طريقة الحمأة المنشطة ممتدة "موسعة" التهوية

تعد طريقة المعالجة البيولوجية ممتدة "أو الموسعة، أو مطولة" التهوية "Extended Aeration"، طريقة معدلة من طريقة المعالجة البيولوجية بنظام الحمأة المنشطة التقليدي، وهي طريقة سهلة، ومرنة في تشغيلها ويمكن الاستغناء عن مرحلة الترسيب الابتدائية.

تدخل المياه العادمة في طريقة المعالجة بالتهوية المطولة (بعد حجز المواد الطافية والرمال) إلى أحواض التهوية حيث تنشط البكتريا الهوائية في أكسدة المواد العضوية، ويساعد على ذلك عملية التهوية الميكانيكية التي تمد المياه بالأكسجين الذائب، وتسبب مزج وتحريك مستمر للسائل ضمن الحوض مما يزيد من فعالية عملية المعالجة. تخرج المياه من أحواض التهوية لأحواض الترسيب حيث ترسب المواد العالقة وما بها من الكائنات الحية الدقيقة، ثم يعاد نسبة كبيرة من هذه الرواسب (الحمأة المنشطة الثانوية) إلى أحواض التهوية للحفاظ على التركيز المناسب من المواد العالقة وما تحمله من البكتريا التي تقوم بعملية الأكسدة (89).

من مزايا هذه الطريقة تثبيت المواد العضوية والاستغناء عن معالجة الرواسب قبل تجفيفها أو استعمالها، إلا أن خزانات هذه الطريقة تتميز بأنها أكبر من حيث السعة لتعطي زمن مكوث للتهوية أعلى من 15 ساعة، كما أن زمن استخدام الحمأة يتراوح ما بين 15 – 30 يوم، وهو ما يعني الحصول على نتائج معالجة أفضل للمياه العادمة، مع تولد كميات أقل من الحمأة الزائدة كمخلفات. هذا وتأتي تصميمات خزانات التهوية في أشكال دائرية أو مستطيلة، وهي مناسبة للمصانع الصغيرة والمتوسطة حيث تتميز بانخفاض تكلفتها الاستثمارية، وانخفاض متطلبات أعمال الصيانة. يوضح الشكل (52) وحدة معالجة بيولوجية بنظام التهوية الممتدة في أحد المصانع.

الشكل (52): وحدة معالجة بيولوجية بنظام التهوية الممتدة في أحد المصانع

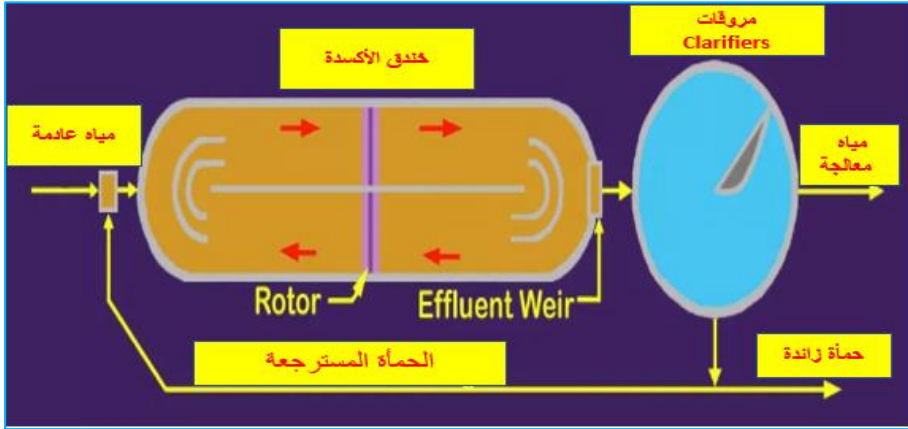


المصدر: <http://napier-reid.com/products/extended-aeration-systems>

3.2.1.1.9.2. خنادق "قنوات" الأكسدة

تعد طريقة خنادق الأكسدة "Oxidation Ditches"، أحد طرق التهوية المطولة وتصمم بنفس الأسلوب، يكون خندق الأكسدة على شكل خزان كبير بيضاوي يتراوح عمقه ما بين 0.6-1.5 متر من سطح الأرض، مما يساعد على منع توفر الظروف اللاهوائية في قاع الخزان. يتم دخول المياه العادمة لتخلط مع الحماء المنشطة في خندق الأكسدة لتعالج بيولوجياً، ويتم تصفية مياه خندق الأكسدة في خزان ثانوي "المروق". ويتم استرجاع جزء من الحمأة المستقرة للمحافظة عليها. هذا ويتم تهوية خندق الأكسدة بواسطة فرشاة تهوية دوّارة على سطح الخندق تعمل على تدوير وتهوية المياه الموجودة فيه ^(76، 82)، يبين الشكل (53) مخطط توضيحي لعملية المعالجة بطريقة قنوات الأكسدة، بينما يوضح الشكل (54) صورة وحدة المعالجة البيولوجية بطريقة قنوات الأكسدة.

الشكل (53): مخطط توضيحي لعملية المعالجة بطريقة قنوات الأكسدة



المصدر: <http://www.thewatertreatments.com/wastewater-sewage-treatment/oxidation-ditch-sewage-treatment>

الشكل (54): صورة وحدة المعالجة البيولوجية بطريقة قنوات الأكسدة

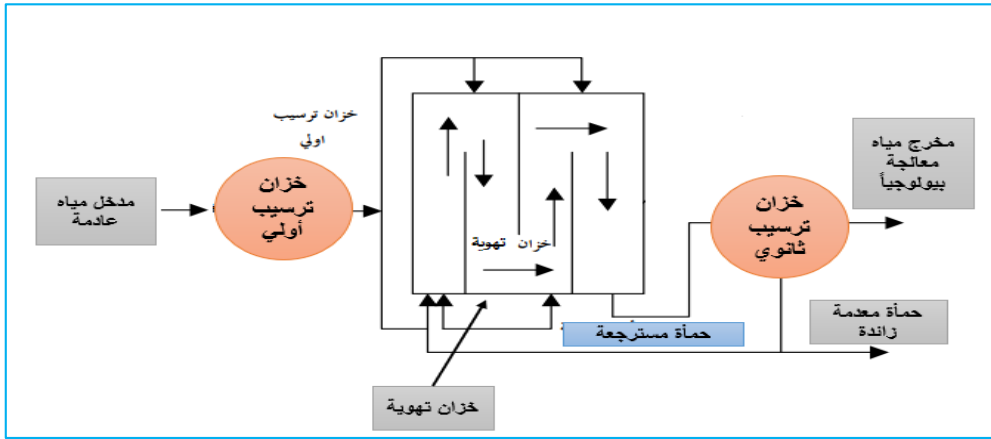


المصدر: <http://www.thewatertreatments.com/wastewater-sewage-treatment/oxidation-ditch-sewage-treatment>

4.2.1.1.9.2. طريقة الحمأة المنشطة متجزئة التهوية

تعتبر طريقة الحمأة المنشطة متجزئة التهوية "Step Aeration"، أو كما تعرف أيضاً باسم التهوية على خطوات، طريقة معدلة من طريقة الحمأة المنشطة، فبدلاً من دخول المياه إلى خزان التهوية من نقطة واحدة على المدخل كما في نظام الحمأة المنشطة التقليدي، تدخل المياه إليه بعد تجزئتها من عدة أماكن على طولها. وتهدف هذه التجزئة إلى مساواة كمية الغذاء مع حاجة الكائنات الحية الدقيقة إليها، وبذلك يقل الطلب الأقصى من الأكسجين في خزان التهوية. ويقوم هذا النظام على تجزئة خزان التهوية إلى أربعة قنوات عرضية، تعمل كل واحدة منها كخطوة منفصلة عن الأخرى، كما يبين الشكل (55).

الشكل (55): مخطط توضيحي لعملية المعالجة بطريقة التهوية متجزئة التهوية



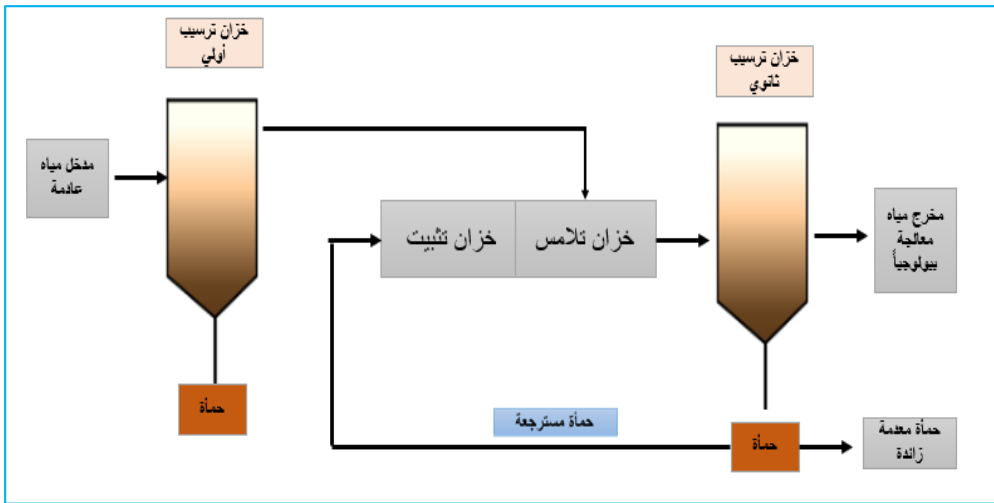
المصدر: المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي في محطات الصرف الصحي

يشبه طريقة الحمأة المنشطة متجزئة التهوية في عمله نظام الحمأة المنشطة، ويكمن الفرق بينهما في أن هذا النظام يسمح بتوزيع أكثر انتظاماً للطلب على الأكسجين مما يساعد على الاستغلال الأفضل للأكسجين المضاف. وتسترجع الحمأة المنشطة في هذا النظام إلى القناة الأولى فقط، حيث يمكن إعادة تهويتها فيها حسب الرغبة، ومن المزايا المهمة لهذا النظام مرونة التشغيل. (77).

5.2.1.1.9.2. نظام التثبيت التلامسي

تعد طريقة المعالجة بنظام التثبيت التلامسي "Contact Stabilization" تطويراً لنظام المعالجة بالحمأة المنشطة التقليدية، بهدف الاستفادة من الخصائص الامتصاصية للحمأة المنشطة. عادةً ما تتم عملية إزالة طاب الأوكسجين الكيميائي الحيوي على مرحلتين، ففي أنظمة الحمأة المنشطة السابقة تحدث كلا المرحلتين في خزان واحد، بينما في عملية التثبيت التلامسي تتفصل هاتين المرحلتين لتتم في خزانات مختلفة. يوضح الشكل (56) رسم تخطيطي لهذه العملية متضمناً خزان الترسيب الأولي والذي قد يحذف في بعض الحالات.

الشكل (56): مخطط توضيحي لعملية المعالجة البيولوجية بطريقة التثبيت التلامسي



المصدر: Environmental Engineering Unit Processes, Activated Sludge Configurations for BOD removal and Nitrification, Marmara University, Istanbul, Turkey.

يتم تهوية مياه الصرف مع الحمأة المسترجعة في خزان التلامس لمدة من 30- 60 دقيقة، حيث يتم امتصاص معظم الغروانيات والعوالق الدقيقة، والمواد العضوية الذائبة. يتم فصل الحمأة من المياه المعالجة بطريقة الترسيب، وتتم عملية التهوية للحمأة المسترجعة لفترة

تتراوح ما بين 1 - 2 ساعة في خزان تهوية الحمأة، وأثناء ذلك تُستعمل المواد العضوية الممتصة لإنتاج الطاقة في الخلايا الجديدة (78,75).

تحتاج عملية التهوية إلى زيادة في ضخ الهواء قد تصل إلى حوالي ٥٠ % عن عمليات الحمأة التقليدية، أو التهوية المتدرجة، لهذا فإنه يمكن مضاعفة قدرة المحطات التقليدية بإعادة تصميمها لتناسب مع طريقة المعالجة بنظام التثبيت التلامسي، ولا يتطلب إعادة التصميم إلا إحداث بعض التغييرات البسيطة في نظام أنابيب "المواسير" في محطة المعالجة فقط (75).

6.2.1.1.9.2. النترجة وإزالة النترجة

تعد طريقة النترجة، وإزالة النترجة طريقة معدلة عن الحمأة المنشطة التقليدية، وتجرى هذه العملية بشكل خاص لإزالة النتروجين. يكون للبكتريا دور واضح في عمليات التحلل للمركبات النيتروجينية خلال عمليات النشدة "Ammonification" (تحويل المركبات البروتينية العضوية إلى الأمونيا بفعل البكتريا، والفطريات، والأكتينومايسس)، والنترجة "Nitrification"، وإزالة النترجة "Dentification" والتي يشارك فيها أنواع مختلفة ومتعددة من البكتريا.

يطلق على عملية تحلل المركبات النيتروجينية إلى مركبات نيتروجين غير عضوي (NH₄⁺, NH₃) بالتمعدن "N-mineralization"، تبدأ عملية التمدن بالنشدة حيث تشارك مجموعات مختلفة من البكتريا الهوائية واللاهوائية في إنتاج غاز الأمونيا، طبقاً للمعادلة التالية:

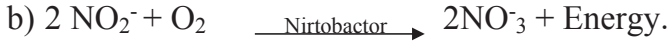


يتفاعل غاز الأمونيا مع الماء مكوناً هيدروكسيد الأمونيوم طبقاً للمعادلة التالية:



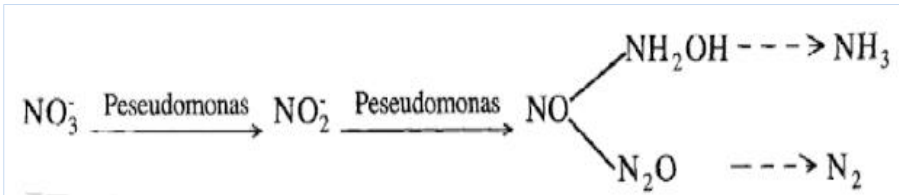
حسب الرقم الهيدروجيني للوسط الذي تتحلل فيه المواد العضوية النيتروجينية ينتج الأمونيوم "NH₄"، والأمونيا "NH₃" بنسب مختلفة، فإذا كان الوسط حامضي كانت نسبة الأمونيا أعلى، وإذا كان الوسط قاعدي كانت نسبة الأمونيوم أعلى.

تحدث عملية **النترجة** عندما يتأكسد الأمونيوم إلى نيتريت ثم إلى نترات، بواسطة بكتريا النتروزوموناس، وبكتريا النتروباكتور في أحواض التهوية، وفي وجود وفرة من الأكسجين، كما هو توضح المعادلات التالية:



تكون سرعة أكسدة أيونات النيتريت إلى نترات أكبر من سرعة أكسدة أيونات الأمونيوم لذلك غالباً ما تكون تركيزات أيونات الأمونيوم أعلى من تركيزات أيونات النيتريت. تتحكم عدة عوامل في سرعة عملية النترجة وتشمل:

- تركيز أيونات الأمونيوم، فكلما قل تركيزها كانت عملية النترجة محدودة.
- يساهم توفر التهوية الجيدة في تسريع عملية النترجة.
- يساهم توفر رقم هيدروجيني متعادل في سرعة عملية النترجة، وتكون الحالة المثلى عند رقم أس هيدروجيني يتراوح ما بين 8-8.4.
- تزداد سرعة عملية النترجة في درجات الحرارة الدافئة "40 م"، ويعتمد حجم خزان التهوية اعتماداً مباشراً على درجات الحرارة، حيث تكون الحاجة إلى ضعف حجم خزان التهوية في فصل الشتاء عنه في فصل الصيف، ذلك بسبب أن معدل نمو بكتريا النترجة "Nitrify bacteria" يزداد مع زيادة درجة الحرارة، ويقل مع انخفاضها.
- تختزل النترات في الظروف اللاهوائية من قبل بعض أنواع الكائنات الحية، وتسمى عملية الاختزال البيولوجية **بنزع النيتروجين** "إزالة النترجة" أو النترزة⁽⁹⁰⁾، طبقاً للمعادلة التالية:



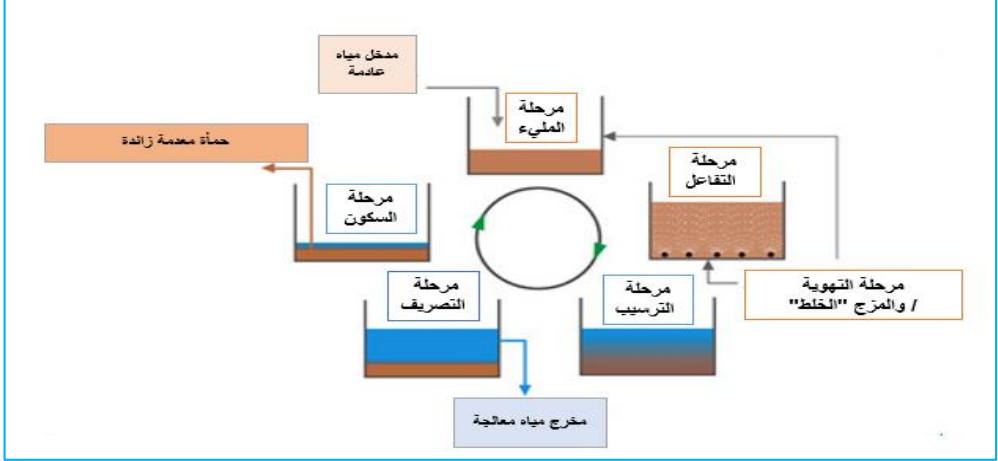
تتم عملية إزالة النترجة في أحواض الترسيب الثانوية وذلك بتأمين زمن تهوية طويل، وإضافة مصدر كربون عضوي "عادة يضاف الميثانول"، وتتميز هذه الطريقة، بأنها طريقة موثوقة، سهلة التشغيل، تزيل حوالي 60-95 % من النيتروجين، وتحتاج إلى مساحات أراضي صغيرة، وذات تكلفة استثمارية، وتشغيلية متوسطة (89).

7.2.1.1.9.2 طريقة المعالجة بالحماة المنشطة المتتابع

تعد طريقة المعالجة بالحماة المنشطة المتتابع "Cyclic Activated Sludge System-CASS-SBR"، هو أحد أساليب التشغيل المتطورة بنظام المفاعل الدفعي المتتابع "Sequencing Batch Reactor -SBR"، وبدأ العمل بهذا النظام في عام 1914 لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن الصناعات البترولية، والبتروكيماوية.

تعتمد طريقة عمل المفاعل الدفعي المتتابع "SBR" على نفس النظرية التقليدية لمعالجة الحماة المنشطة ولكن بإضافة نظرية المليء، والإفراغ، حيث أن عمليات التهوية، والترسيب، والترويق متماثلة في كلتا الطريقتين، ولكن الاختلاف الوحيد هو أن خطوات المعالجة في الطريقة التقليدية تتم في خزانات منفصلة، أما في طريقة المفاعل الدفعي المتتابع "SRB" فإن جميع الخطوات تتم بطريقة متتابعة في نفس الخزان. تشمل تلك العمليات عملية المليء، وعملية التفاعل (تهوية)، وعملية الترسيب (ترويق)، وعملية التصريف، وأخيراً عملية السكون، كما يبين الشكل (57).

الشكل (57): مخطط عملية المعالجة بنظام الحمأة المنشطة في المفاعل الدفعي المتتابع



المصدر: SEQUENTIAL BATCH REACTORS: TAKING PACKAGED WASTEWATER TREATMENT TO NEW HEIGHTS - A REVIEW, International Journal of Civil Engineering and Technology.

يعتبر التخلص من الحمأة من أهم خطوات عملية المفاعل الدفعي المتتابع "SBR" والتي تؤثر بشدة على الأداء العام للعملية، وتحدث هذه العملية عادة خلال مرحلة الترسيب. ومن ضمن المميزات الفريدة للنظام هو عدم الحاجة إلى نظام إعادة الحمأة النشطة (RAS) حيث أن التهوية والترسيب يحدثان في نفس الغرفة ولذلك لا يحدث أي فقد للحمأة في خطوة التفاعل وبالتالي لا يوجد ما يستدعي إعادة الحمأة من خزان المروق للحفاظ على محتواها في غرفة التهوية. يجب الوضع في الاعتبار أن جميع أنواع مياه الصرف التي تعالج بالطرق التقليدية للحمأة النشطة يمكن أن تعالج بنظام SBR، وتتم العملية خلال أربع ساعات أو أقل (77). وبالتالي يمكن الاستغناء عن أحواض الترويق النهائية، وكذلك الاستغناء عن مضخات إعادة ضخ الحمأة المسترجعة، مما يسهم في خفض التكلفة التشغيلية، والاستثمارية لمعالجة المياه بالطرق البيولوجية (69). يبين الشكل (58) وحدة معالجة مياه الصرف بنظام المفاعل الدفعي المتتابع.

الشكل (58): وحدة معالجة مياه الصرف بنظام المفاعل الدفعي المتتابع



المصدر : <https://www.exportersindia.com/yash-eniro-technologies/sbr-waste-water-treatment-plants-pune-india-1044585.htm>

من أهم مميزات هذا النظام المتطور هو التغلب على المشاكل التشغيلية الناجمة عن أسلوب المعالجة بالحمأة المنشطة التقليدي، والخاص بصعود الحمأة "Rinsing Sludge"، وتضخم الحمأة "Bulking Sludge" (69).

1.7.2.1.1.9.2. صعود الحمأة

على الرغم من تمتع الحمأة بخصائص ترسيبيه جيدة، إلا أنه قد لوحظ أنها تصعد، وتطفو على السطح بعد فترة وجيزة من ترسيبها، بسبب عملية نزع النيتروجين "Denitrification"، حيث تتحول النترات والنيترات "Nitrites" إلى غاز النيتروجين الذي ينحصر في حبيرة "فرشة" الحمأة. ومع ازدياد كمية الغاز في الفرشة تصبح قوة الطفو للحمأة أكبر من وزنها، وبذلك تصعد وتطفو على سطح الماء. يبين الشكل (59) مشكلة صعود الحمأة.

الشكل (59): مشكلة صعود الحمأة



المصدر: <http://www.tecnosolving.com/technical-articles/problems-with-the-biodisc-sludge-in-lamellar-settling>

يمكن التمييز بين سبب طفو الحمأة، سواءً كان نتيجة عملية الصعود والناجمة عن عملية نزع النيتروجين، أو نتيجة تضخمها، وذلك عن طريق ملاحظة الحمأة الطافية ورؤية إن كان هناك فقاعات تتصاعد منها، فإن كانت كذلك فالسبب يعود إلى عملية نزع النيتروجين. ويمكن التغلب على هذه المشكلة عن طريق: زيادة معدل سحب الحمأة المسترجعة من خزان الترسيب الثانوي، أو خفض معدل دفع السائل المختلط من خزان التهوية، أو زيادة معدل جمع الحمأة من قاع الخزان، أو اختصار فترة مكوث الجراثيم المتوسطة عن طريق زيادة معدل التخلص من الحمأة (75).

2.7.2.1.1.9.2. تضخم الحمأة

الحمأة المتضخمة هي تلك الحمأة التي تعاني من ضعف الخصائص الترسيبية والديناميكية. ويعود تضخم الحمأة إلى سببين، أولهما نمو الكائنات الحية الدقيقة الخيطية في

الحمأة بدرجة كبيرة، وثانيهما انتفاخ الجراثيم، نتيجة امتلاءها بالماء إلى الدرجة التي تصبح فيها كثافتها منخفضة، مما يفقدها القدرة على الترسيب. يبين الشكل (60) مشكلة تضخم الحمأة.

الشكل (60): مشكلة تضخم الحمأة



المصدر: <http://www.wastewatersystem.net/2010/11/what-causes-bulking-sludge-problem.html>

من الأسباب الشائعة لتضخم الحمأة ما يلي:

1.2.7.2.1.1.9.2. خصائص المياه الفيزيائية والكيميائية

تشمل تلك الخصائص كل من تذبذب معدلات الدفق للمياه، وتغيير تركيز رقم الأس الهيدروجيني، ومحتوى الماء من المغذيات، وطبيعة مكونات المواد الصلبة في المياه العادمة (75).

2.2.7.2.1.1.9.2. محددات تصميم محطة المعالجة

تشمل هذه المحددات كل من سعة وقدرة المهيويات على تزويد خزان التهوية بكميات الهواء اللازمة، ومحدودية خزان الترسيب، وسعة معدات ضخ الحمأة المسترجعة، ومشكلة تدوير الحمأة القصير "Short Circuiting"، وسوء الخلط (75).

3.2.7.2.1.1.9.2. أسلوب تشغيل المحطة

يشمل أسلوب وكيفية تشغيل المحطة كل من انخفاض تركيز الأكسجين الذائب، وزيادة الحمل العضوي على خزانات التهوية، وتشغيل خزان الترسيب النهائي (75).

3.1.1.2.9. نظام المفاعلات الحيوية ذات الأغشية

بدأ استخدام تقنية مفاعلات الأغشية الحيوية "Membrane Bioreactor-MBR" في عام 1960، وتضمن استخدام رقائق غشائية من نوع الفلترة الفائقة - "UF"، وانتشرت هذه التقنية في معالجة مياه الصرف الصحي بشكل واسع، ومن أهم الأسباب التي أدت إلى انتشارها هو إمكانية الحصول على مياه معالجة نهائية ذات مواصفات وجودة فائقة تلبي المعايير والمتطلبات البيئية الصارمة واللازم توفرها لإعادة استخدامها بشكل آمن، وبما ينعكس إيجابياً على الصحة العامة، والبيئة المحيطة.

إن استخدام تقنية الأغشية أدى إلى خفض مساحات الأراضي اللازمة لبناء محطات معالجة إلى حد كبير مقارنة مع طرق المعالجة البيولوجية كنظام الحمأة المنشطة، ونظام المعالجة بالتهوية المطولة، بالإضافة إلى تميزها بانخفاض التكلفة الاستثمارية والتشغيلية نسبياً، وقابليتها التامة للتأقلم والمرونة مع أي تغييرات أو تشدد في المواصفات اللازمة للمياه المعالجة. لذا فقد اعتبرت تقنية الأغشية ثورة جديدة معاصرة في مجال معالجة مياه الصرف، وإعادة الاستخدام المستدام للمياه المعالجة على نحو أوسع مما كان عليها في المحطات التقليدية "وخصوصاً للمناطق التي تعاني نقصاً في الموارد المائية" (82).

منذ تسعينيات القرن الماضي كان العمل متواصل لخفض تكلفة هذا النوع من محطات المعالجة، وذلك لتفادي التكاليف المرتفعة لهذا النوع وبحيث يكون قابل للاستخدام بكلفة قريبة من تكلفة محطات المعالجة التقليدية. ولاتزال الشركات المنتجة للأغشية مستمرة في تطويرها لخفض تكاليف إنتاج الأغشية الدقيقة، وإطالة فترات تشغيلها.

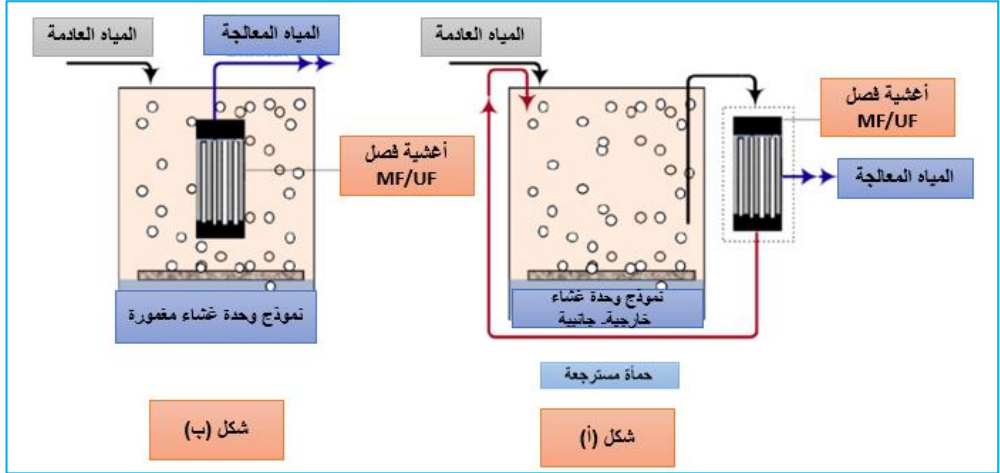
تستخدم أغشية شبه نافذة (Semi-permeable Membranes) في هذه التقنية لفصل المواد الصلبة العالقة، والمنحلة من المياه. هناك طريقتان للفصل الغشائي وهما الفصل بنظام الضغط الهيدروليكي، والفصل الكهربائي.

تعد طريقة الفصل بالضغط الهيدروليكي الأكثر استخداماً، حيث يستخدم الضغط في إجبار المياه الملوثة على المرور عبر الأغشية شبيهة النفاذة، لحجز الملوثات المراد التخلص منها، أو تخفيض كمياتها في حوض المعالجة، والسماح فقط للمياه المعالجة بالخروج. تتضمن تقنيات الفصل الغشائي بالضغط عدد من الأنظمة حسب أقطار، وحجم المسامات المكونة للغشاء، وتشمل الفلترة الميكروية الدقيقة "Microfiltration -MF"، والفلترية ما فوق الميكروية (فلترية فوقية) "Ultrafiltration- UF"، والفلترية النانوية "Nanofiltration-NF"، والفلترية بنظام التناضح العكسي "Reverse Osmosis-RO" (87).

هناك نموذجان لتقنية الفصل الغشائي، النموذج الأول تتم فيه عمليات الفصل في وحدة غشاء خارجية، أو جانبية حيث يتم تدوير الماء المختلط خارج المفاعل إلى وحدة الغشاء، ويعمل الضغط على فصل المياه عن الحمأة، ثم يتم إعادة تدوير الحمأة المركزة مرة أخرى إلى المفاعل، كما في الشكل (61-أ). أما النموذج الثاني فيتضمن وحدة غشاء مغمورة في حوض الحمأة المنشطة، وتستخدم قوة شفط لسحب المياه عبر الغشاء، بينما يتم الاحتفاظ بالحمأة فوق سطح الغشاء، كما في الشكل (61-ب).

يحتوي قاع المفاعل على ناشر متشعب للهواء المضغوط لتوفير الأكسجين اللازم لعملية المعالجة الهوائية، كما تعمل فقاعات الهواء أيضاً على تنظيف سطح الغشاء الخارجي. يعد النموذج الثاني الأكثر استخداماً نظراً لكونه الأكثر وفراً في استهلاكات الطاقة، كما أنه يضمن آلية تنظيف للحد من تلوث أغشية الفصل.

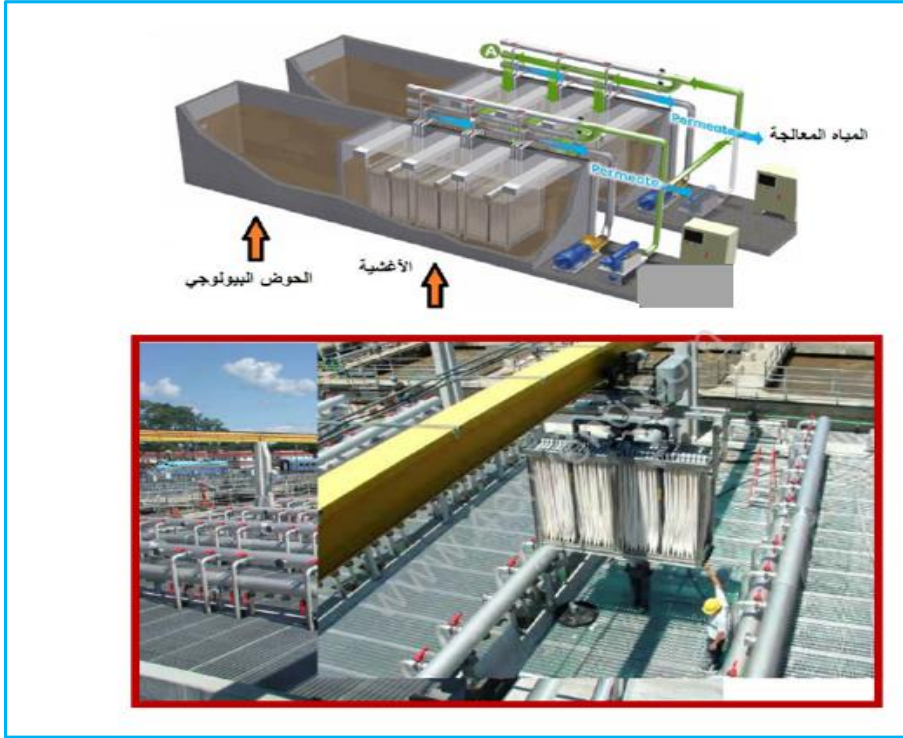
الشكل (61 أ- ب): نماذج تقنية الفصل الغشائي (الجانبية، والمغمورة)



المصدر: https://www.researchgate.net/figure/2-Membrane-bioreactor-MBR-configurations_fig2_304705660

تعتبر المعالجة التمهيدية للمياه العادمة ضرورية للتخلص من المواد الصلبة العالقة التي من الممكن أن تسد فتحات الأغشية الدقيقة، وبالتالي تقلل من كفاءتها. ففي السابق كان لابد من إجراء المعالجة التمهيدية اللازمة قبل مرحلة استخدام الأغشية، ولكن هذا الأمر تم تلافيه لاحقاً حيث أصبح تنظيف الأغشية يتم عبر وضع ناشرات "نافثات" هواء تحتها تماماً لتؤمن تنظيفاً دائماً للأغشية، أو باستعمال الضخ العكسي للمياه المعالجة لتنظيف الأغشية لمدة زمنية قليلة (دقائق) بعد كل مرحلة لسحب المياه النظيفة، في حين أن الأمر قد يحتاج إلى فترات زمنية طويلة تمتد من عدة أشهر لتنظيف الأسطح الخارجية للأغشية بالمواد الكيميائية. إن المحافظة على نظافة الأغشية يطيل من عمرها التشغيلي، ويضمن الحصول على نتائج جيدة للمياه المعالجة. يبين الشكل (62) محطة معالجة مياه مزودة بأغشية مغمورة.

الشكل (62): محطة معالجة مياه مزودة بأغشية مغمورة "MBR-System"



المصدر: <https://www.logisticon.com/en/technologies/membrane-bioreactor>

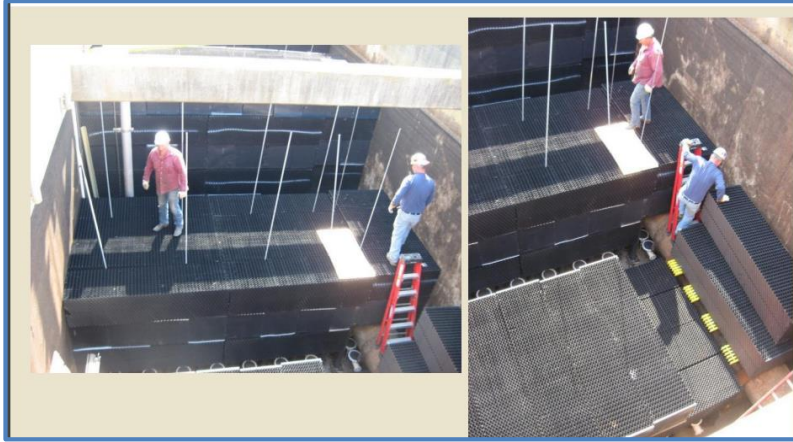
تصنع أغشية الفصل من بوليمرات، ومن أهم البوليمرات المستخدمة في تصنيع الأغشية، البولي فينيل داين داي فلوريد "PVDF"، والبولي إيثيرسولفون "PES"، والبولي إيثيلين، والبولي بروبيلين (87،82)، كما يمكن أن تصنع من السيراميك، أو من الأكاسيد المعدنية، وبعضها يصنع من طبقة رقيقة من البولي أميد. تستخدم مادة السيراميك عادةً لتصنيع أغشية الفلترة الفائقة "UF"، وعلى الرغم أنها أكثر كلفة من الأغشية البوليميرية إلا أن مزاياها التشغيلية أكبر من حيث قدرتها على تحمل درجات الحرارة المرتفعة.

4.1.1.2.9. نظام الحمأة المنشطة المتكامل ذو الغشاء الثابت

لاقت تكنولوجيا المعالجة بنظام الحمأة المنشطة المتكامل ذو الغشاء الثابت "Integrated Fixed Film Activated Sludges-IFAS" قبولاً واسعاً كطريقة اقتصادية جديدة متطورة لمعالجة مياه الصرف دون الحاجة إلى بناء أحواض تهوية جديدة أو مروفات. تعد هذه التقنية هجيناً يجمع بين طريقة المعالجة بنظام الحمأة التقليدي، وتقنيات الأفلام الثابتة "Fixed Films"، حيث يتم غمر وسائط داعمة ثابتة من الأفلام في أحواض التهوية لتسمح للكائنات الحية الدقيقة، والبكتيريا المستخدمة في عمليات المعالجة البيولوجية بالتكاثر على أسطح ثابتة، دون الحاجة إلى عمليات النمو المعلقة للبكتيريا كما في نظام الحمأة التقليدي (86). لذا فقد أضفت هذه التقنية ميزة وفوائد أنظمة الأفلام الثابتة إلى أنظمة النمو المعلق المستخدم في تقنية الحمأة المنشطة، مما وفر لها المرونة الفعالة في عمليات المعالجة البيولوجية.

استخدمت هذه الطريقة منذ أكثر من 60 عاماً، عندما ركبت ألواح مصنعة من مادة الأسبستوس بشكل عمودي فوق شبكة تهوية مكونة من أنابيب مثقبة، دون الحاجة إلى إعادة استخدام الحمأة المسترجعة، خلال فترات مكوث تراوحت ما بين 1.7 – 3 ساعات. استمر تطوير تقنية "IFAS" خلال العقود التالية، وتميزت هذه الطريقة بقلّة المساحات المطلوبة لتركيبها وتشغيلها، وتطورت مواد الوسائط "Media" المستخدمة ما بين وسائط مرنة يتم تثبيتها على إطارات ثابتة، يتم وضعها في خزانات الحمأة المنشطة، أو وسائط مصنعة من مادة البولي فينيل كلوريد والتي تتميز بالأداء المرتفع مع انخفاض التكلفة، كما يمكن أيضاً أن يستخدم البولي إيثيلين عالي الكثافة في تصنيع الوسائط المستخدمة (86). يبين الشكل (63) وحدة معالجة المياه العادمة بنظام الحمأة المنشطة المتكامل ذو الغشاء الثابت.

الشكل (63): وحدة معالجة المياه العادمة بنظام الحماة المنشطة المتكامل ذو الغشاء الثابت



المصدر: Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS) System for Additional Nitrification at the Coldwater WWTP.

5.1.1.2.9. المفاعل الحيوي ذو السرير المتحرك

اشتراطت المواصفات العالمية الحديثة، والتشريعات البيئية الصارمة ضرورة إزالة ما لا يقل عن 80 % من كمية النيتروجين الكلي "TN"، ونحو 90 % من قيمة الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي "BOD5" من مياه الصرف قبل إعادة صرفها على المسطحات المائية، وهو ما لم تستطيع أن تفي به محطات المعالجة بالحماة المنشطة التقليدية، بل تطلب إجراء بعض التعديلات في تصميمات تلك المحطات التقليدية.

أدت هذه التعديلات إلى استخدام طرق معالجة مدمجة، مثل إضافة وحدات لنزع النيتروجين "Denitrification"، وإلى وحدات طرق المعالجة بالتهوية الممتدة، إلا أن هذه التعديلات تضمنت سلبيات عديدة، وأهمها: ارتفاع التكلفة الإنشائية، الحاجة إلى وحدات ضخ كبيرة الحجم لتدوير الحمأة المنشطة، يضاف إلى ذلك المشكلات التشغيلية في عمليات فصل الحمأة في أحواض الترسيب الثانوية نتيجة انتفاخ الحمأة، وإمكانية حدوث انتقال لكميات من الحمأة، والمواد العالقة مع المياه المعالجة مما قد يؤثر سلباً على درجة نقاوتها، بالإضافة إلى الحاجة شبه المستمرة لإضافة المواد الكيماوية لرفع قلوية المياه، وتأمين ظروف مناسبة لعملية نمو وعمل البكتيريا المنترنة "Nitrifying Bacteria"، بالإضافة إلى مواجهة صعوبة في مرونة التشغيل للمحطات عند زيادة الحمولات الفجائية، وتغير تركيزات المياه.

أدت هذه السلبيات إلى ابتكار المفاعل الحيوي ذو السرير المتحرك "Moving Bed Bioreactor -MBBR"، والذي ابتكرته إحدى الشركات النرويجية في عام 1989 بالتعاون مع مركز الأبحاث النرويجي "SINTEF"، ويتميز بإمكانية معالجة مختلف أنواع، وكميات المياه العادمة مهما كانت درجة تلوثها. كما تستخدم هذه التقنية أيضاً للتخلص من المواد العضوية، والنتيجة، ونزع النيتروجين من المياه العادمة، وتعتمد هذه التقنية في عملها على أسس عمل تقنيات المعالجة بنظام الحمأة المنشطة التقليدية، ونظم عمل عمليات الفلتره الحيوية (88).

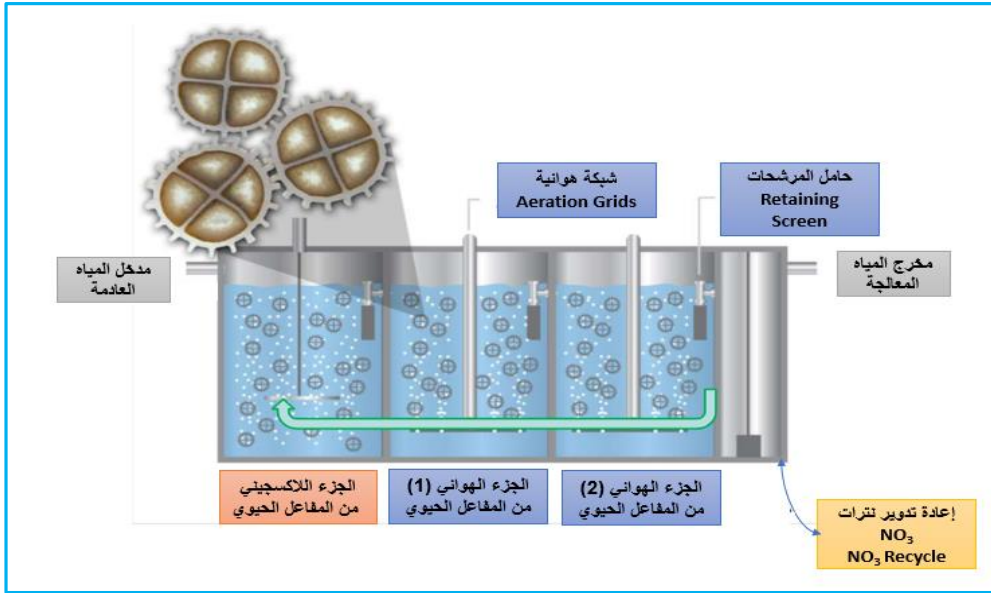
دخلت هذه التقنية الولايات المتحدة الأمريكية لأول مره عام 1995، وانتشرت حتى وصل عدد محطات المعالجة إلى نحو 400 محطة لمعالجة مياه الصرف الصحي، والصناعي على مستوى العالم (88).

يمكن أن يتكون نظام المعالجة من نظام المرحلة الواحدة، أو متعدد المراحل اعتماداً على المواصفات المطلوب تحقيقها للمياه المعالجة طبقاً لاستخداماتها النهائية.

تعتمد الطريقة على تصميم حامل الفيلم الحيوي "Biofilm Carrier"، من كتل بلاستيكية صغيرة متماثلة، أسطوانية موجة الشكل، أو على هيئة شرائح مجوفة أو منحنية، مصنعة من البلاستيك "البولي بروبيلين"، أو السيراميك، لها وزن نوعي "0.96" أخف قليلاً من الوزن

النوعي للمياه، وتكون دائمة الحركة خلال تدافع المياه داخل المفاعل الحيوي. **الشكل (64)** يبين معالجة المياه العادمة بنظام المفاعل الحيوي ذو السريير المتحرك.

الشكل (64): معالجة المياه العادمة بنظام المفاعل الحيوي ذو السريير المتحرك



المصدر: https://businessdocbox.com/Green_Solutions/74303435-21-st-century-biofilm-reactors-treating-for-trout-northport-leelanau-township-wastewater-treatment-facility-presented-by-rich-grant-pe.html

صممت الكتل البلاستيكية بحيث تضمن سطوحاً نوعية كبيرة تصل إلى نحو (355 م²/م³)، يتم التصاق نحو 40 % من الكتلة الخلوية البكتيرية "Bacterial Mass" على شكل فيلم حيوي محمي بشكل هندسي يحول دون انسلاخه بسبب الحركة العشوائية المستمرة، والتصادمات بين هذه الكتل داخل المفاعل الحيوي، كما يضمن عمليات تلامس بين الملوثات، وفقاعات الهواء المنتشرة خلال الشبكة الهوائية الممتدة فوق قاع الجزء الهوائي من المفاعل.

يبين **الشكل (65)** الكتل البلاستيكية لنمو بكتريا المعالجة عليها.

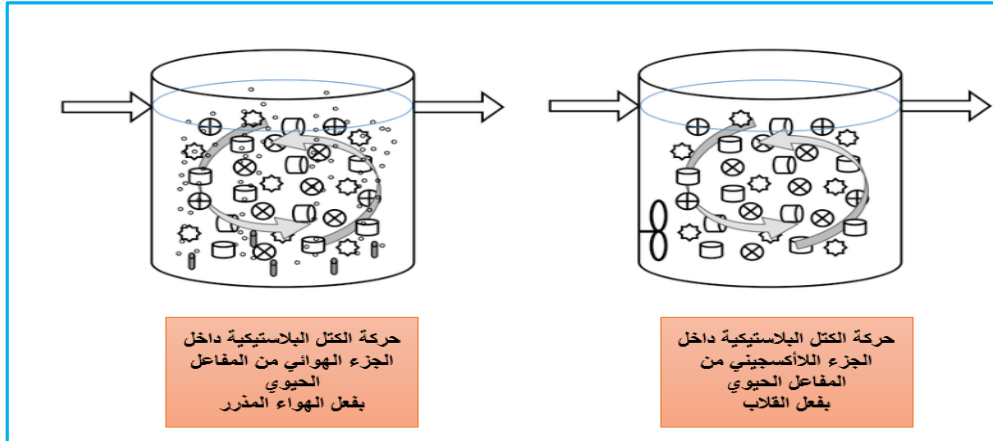
شكل (65): الكتل البلاستيكية لنمو بكتيريا المعالجة عليها



المصدر: <https://pdfs.semanticscholar.org/6b61/ef0f8e0a1f77808633bcabe919072d84da67.pdf>

يتم ملئ المفاعل الحيوي في جزئيه الهوائي، واللاأكسجيني بالكتل البلاستيكية إلى حوالي 67% من الارتفاع التصميمي للمياه داخل المفاعل (الفاقد في حجم المفاعل نتيجة وجود هذه الكتل البلاستيكية يمثل نحو 12% من إجمالي حجم المفاعل)، ثم تدفع المياه العادمة إلى المفاعل. تتحرك الكتل البلاستيكية داخل المفاعل الحيوي على شكل تيارات شبه دائرية بفعل تأثير الهواء المذرر في الجزء الهوائي، وبفعل القلابات في الجزء اللاأكسجيني (87، 88). كما يبين الشكل (66). بينما يبين شكل (67) وحدة معالجة بنظام المفاعل الحيوي ذو السرير المتحرك.

شكل (66): آلية مسار حركة الكتل البلاستيكية في المفاعل الحيوي ذو السرير المتحرك



المصدر: https://www.researchgate.net/figure/The-mechanisms-of-the-moving-bed-bioreactor_fig1_308722690

شكل (67): وحدة معالجة بنظام المفاعل الحيوي ذو السرير المتحرك



المصدر: <https://www.ovivowater.ch/de/application/energy/petrochemical/processwastewater-/treatment/mbbr>

تتميز هذه التقنية بالميزات التالية (87،88):

- وحدات معالجة مدمجة لا تحتاج إلى مساحات شاسعة من الأراضي.
- إمكانية تطوير وتعديل محطات المعالجة التي تعمل بطريقة الحمأة المنشطة التقليدية، لتشغيلها بالتقنية الجديدة، واستيعاب كميات أكبر من المياه المعالجة دون الحاجة لمنشآت جديدة.
- كفاءة عالية لإزالة المواد الصلبة، والنيتروجين الكلي، والنترات، ومحتوي الطلب على الأكسجين الكيميائي، والكيميائي الحيوي "COD, BOD".
- إمكانية معالجة المياه العادمة ذات تركيزات مرتفعة من المواد الصلبة تتراوح ما بين 6000-9000 ملغرام/لتر، بينما الطرق الأخرى تعالج مياه عادمة ذات تركيزات تصل إلى 60 % من هذه القيم، مما يميز الطريقة الجديدة بالفاعلية في المعالجة مع بقاء كميات الحمأة الناتجة في حدود كمياتها الناتجة عن الطريقة التقليدية.
- زمن المكوث " زمن الحجز الهيدروليكي " منخفض جداً مقارنةً بالطرق التقليدية السائدة حيث يتراوح ما بين 1.5-2 ساعة، بينما يصل إلى نحو 24 ساعة في طريقة الحمأة المنشطة ممتدة التهوية.
- لا حاجة لإجراء عمليات الغسيل العكسي بصورة دورية.
- انخفاض كميات الحمأة المسترجعة، وعدم الحاجة لإعادة تدويرها إلى المفاعل، وتفادي مشكلات انتفاخها.
- مرونة التشغيل مع تحمل التغيرات المفاجئة في الأحمال، ومواصفات المياه العادمة، ودرجات الحرارة.
- خفض في التكلفة الاستثمارية والتشغيلية.

10.2. المعالجة الثلاثية "Tertiary treatment"

تشمل المعالجة الثلاثية العديد من العمليات العلاجية الفيزيائية والكيميائية، ويمكن أن تستخدم بعد عمليات المعالجة البيولوجية في المرحلة الثانوية، بهدف تلبية متطلبات عمليات المعالجة الكلية للوصول إلى مستويات وجودة المياه المطلوبة من حيث المتطلبات البيئية لإعادة استخدامها.

يتم في هذه الخطوة إزالة الملوثات من المياه العادمة والتي لم يتم إزالتها أو التخلص منها بشكل تام في عمليات المعالجة الثانوية، وخاصة للوصول إلى الحدود المقبولة من محتوى المواد الصلبة الكلية، ومحتوى الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي (BOD، TSS)، وإزالة المغذيات (النيتروجين، والفسفور)، وإزالة السموم (المركبات العضوية المتطايرة، المعادن).

كما يمكن أن تشمل عمليات المعالجة الثلاثية تقنيات الفصل الفيزيائي الكيميائي مثل امتصاص الكربون المنشط "Activated Carbon Adsorption"، التلبد / الترسيب "Flocculation/Precipitation"، ترشيح الأغشية "Membranes Filtration"، التبادل الأيوني، إزالة الكلورة "de-chlorination"، والتناضح العكسي "Reverse Osmosis".

1.10.2. الفلتر "الترشيح الحبيبي" "Granular Media Filtration"

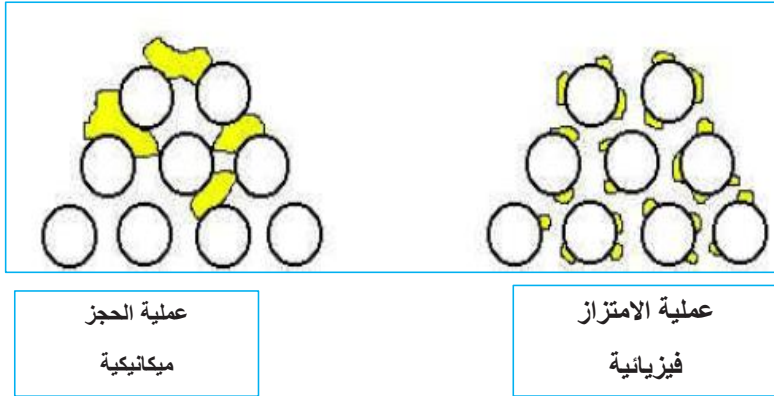
هي عملية فيزيائية لإزالة المواد العالقة في المياه العادمة عن طريق إمرارها خلال وسط مسامي يسمح بنفاذ المياه وحجز المواد العالقة، لا يحدث خلال عملية الفصل أي تفاعلات كيميائية، حيث أن عملية الفصل تتم بين طورين، الطور السائل "المياه العادمة"، والطور الصلب "Solid Phase"، وهو المواد الصلبة العالقة.

تشتمل المواد أو الشوائب الصلبة العالقة على كل من:

- دقائق التراب أو الرمل التي تختلط بالمياه أثناء مروره في طبقات الأرض، أو خلال عمليات الضخ، والنقل، والتخزين.

- المواد الغروية، وهي عبارة عن مخلفات عضوية ناتجة عن تحلل البقايا الحيوانية، والنباتية في المياه.
 - الكائنات الحية الدقيقة كالبكتيريا، والفطريات، والطحالب، والديدان، وتكون ذائبة في المياه.
 - المواد العضوية التي تسبب تلون للمياه مثل الأصباغ، والأحبار، وغيرها.
 - المواد غير العضوية التي تسبب تلون للمياه مثل مركبات الحديد، والمنجنيز.
- تتكون طبقة مع مرور الوقت من الشوائب على سطح وسط الترشيح تسمى "بكيفة الترشيح"، أو الحصيرة – الفرشة- "Mat"، والتي تعد الوسط الحقيقي لعملية الترشيح حيث تتم خلالها عملية الترشيح بشكل فعال ذلك قبل أن تصل سماكتها إلى درجة تمنع مرور المياه وتعيق عملية الترشيح. حيث أنه ومع مرور الوقت تصبح هذه الطبقة عائقاً لعملية الفلترة وتسبب ارتفاعاً ملحوظاً في فاقد الضغط "Pressure losses"، كما تسبب انخفاضاً في تدفق المياه من خلال الفلتر (92). تتم عملية الترشيح طبقاً للأسس التالية:
- التصاق المواد العالقة بحبيبات الرمل، وتسمى عملية امتزاز "Adsorption".
 - ترسيب بعض المواد العالقة في فجوات بين الرمال، والتي تعمل كمصفاة تحتجز المواد العالقة ذات الأحجام الكبيرة نسبياً، وهي عملية ميكانيكية. يبين الشكل (68) الفرق بين عمليتي الامتزاز "فيزيائية"، وعملية الحجز "ميكانيكية".
 - تكون طبقة هلامية على سطح الرمل من المواد العالقة الدقيقة وما يحتمل تواجده من كائنات حية دقيقة، مما يساعد على اصطياد وحجز المواد العالقة.
 - اختلاف الشحنات الكهربائية على كل من المواد العالقة وحبيبات الرمل، مما يساعد على جذب والتصاق هذه المواد بحبيبات الرمل (82).

شكل (68): الفرق بين عمليتي الامتزاز " فيزيائية"، و عملية الحجز " ميكانيكية"



المصدر: Rapid Sand Filtration

1.1.10.2. أوساط الترشيح

تستخدم لأغراض الترشيح والفلترية مواد مختلفة بعضها من مصادر طبيعية، وبعضها من مصادر صناعية، يعتمد اختيار وسط الترشيح على عوامل عديدة، ومن أهمها:

1.1.1.10.2. حجم المواد الصلبة

يتم اختيار وسط الترشيح بحيث تكون مسامه أصغر من حجم دقائق المواد الصلبة المراد إزالتها، مع مراعاة أنه كلما قل قطر مسام وسط الترشيح كلما زاد فرق الضغط الفاقد مما يسبب انسداد المسام وتوقف عمليات الفلترية بعد وقت قصير (91،82).

2.1.1.10.2. درجة التنقية المطلوبة

كلما كانت درجة عمليات التنقية المطلوبة فائقة، فإنه من الضروري تحديد كفاءة الفلتر.

3.1.1.10.2 فترة التشغيل

يوجد أوساط ترشيح تتحمل فترات تشغيل طويلة دون أن تتأثر كفاءة الفلترة، بينما هناك أوساط أخرى لا تتحمل فترات طويلة.

4.1.1.10.2. الغسيل والتنشيط

من الضروري اختيار أوساط ترشيح تكون سهلة الغسيل، واقتصادية وخاصة في العمليات الصناعية الضخمة (91،82).

5.1.1.10.2. التكلفة

تعد التكلفة الاقتصادية من المحددات الرئيسية في اختيار أوساط الترشيح، وبخاصة في الوحدات الصناعية التي تستهلك كميات كبيرة من أساط الترشيح في عمليات المعالجة. من أهم الأوساط المستخدمة في عمليات الترشيح ما يلي:

1.5.1.1.10.2. الرمال

تعد الرمال من أرخص الأوساط المستخدمة في عمليات الترشيح، وتستخدم بشكل واسع في المرشحات الرملية، حيث يستخدم رمل الكوارتز لهذا الغرض. يستخدم الرمل بسماكات مختلفة تصل إلى 700 مللي للطبقة الواحدة، وبأقطار مختلفة تتراوح ما بين 0.45-0.55 ملم. ولتحديد الأقطار المقبولة، والمطلوبة للرمل، تستخدم تقنية التحليل بالمناخل " Sieve Analysis"، وهي عبارة عن مجموعة من المناخل الرأسية المرقمة حسب فتحة كل منخل، ويعطي كل منخل رقم يسمى "Mesh Number"، ويتم تحريك المناخل من خلال هزاز كهربائي، وتؤدي عملية التحريك إلى حجز الرمال على سطوح المناخل حسب حجمها، وبالتالي يتم تحديد قطر هذه الحبيبات على كل منخل. يبين الشكل (69) مجموعة المناخل المستخدمة في تحديد أقطار الرمال المقبولة بتقنية التحليل بالمناخل (91،82).

شكل (69): مجموعة المناخل المستخدمة في تحديد أقطار الرمال المطلوبة
بتقنية التحليل بالمناخل



المصدر: Sieve Analysis test of Sand

2.5.1.1.10.2. فحم الأنثراسيت "Anthracite"

يستخدم هذا النوع من الفحم كبديل للرمال في بعض محطات المعالجة بالترشيح، وقد يستعمل مع الرمال، ومواد أخرى كوسط خليط للترشيح، وتستخدم هذه النوعية من المرشحات بسماكات قريبة من شبيهاتها في أوساط الرمال (91-82).

3.5.1.1.10.2. الأوساط المخلوطة "Multilayer/ Mixed Media"

أصبح استخدام أكثر من وسط "خليط" للترشيح أمراً شائعاً، بحيث توضع الحبيبات الأكبر حجماً والأقل كثافة في أعلى حشوة الوسط بينما توضع الحبيبات الأقل حجماً والأكثر كثافة في أسفل الحشوة، كما يبين الشكل (70)، تستخدم عادة مجموعة من المواد كأوساط مخلوطة كطبقات فوق بعضها البعض كما يبين الجدول (21)، ولدى مرور المياه من أعلى إلى أسفل فإن هذه الأوساط المخلوطة تضمن عملية نفاذية منتظمة لفترات طويلة قبل الحاجة إلى عملية الغسيل العكسي. (91-82).

الشكل (70): شكل خليط أوساط الترشيح في المرشحات



المصدر: <https://www.freedrinkingwater.com/water-education2/814-multi-media-filters.htm>

جدول (21): منظومة أوساط مخلوطة مستخدمة في فلاتر الترشيح

نوع الوسط	القطر الفعال (مم)	الوزن النوعي
الأنثراسيت	0.7-1.7 ✓	1.4 ✓
الرمال	0.3-0.7 ✓	2.6 ✓
الجرانيت	0.4-0.6 ✓	3.8 ✓
الماجنتايت	0.3-0.5 ✓	4.9 ✓

المصدر: استخدام معدات الترشيح في معالجة المياه، معهد التدريب المتخصص للصناعات الكيماوية- الأردن

2.1.10.2. أنواع المرشحات

تنقسم أنواع المرشحات إلى (82):

- مرشحات تعتمد على خاصية الجاذبية، وطبقاً لسرعة الترشيح مثل، المرشحات الرملية البطيئة، والمرشحات الرملية السريعة.
- طبقاً لنوع طبقة الترشيح فنجد مرشحات الرمل، أو الفحم، أو الإثنين معاً، وهناك المرشحات ذات الطبقة الواحدة أو متعددة الطبقات.

- طبقاً لاتجاه الترشيح، فهناك المرشحات التي يتم فيها الترشيح من أعلى إلى أسفل وهو النوع الشائع، أو من أسفل إلى أعلى.
- هذا وتوجد أنواع من المرشحات الرملية يطلق عليها "المرشحات الرملية ذات الجريان العكسي"، حيث تدخل المياه المراد معالجتها من أسفل المرشح وتخرج من الأعلى ويبلغ معدل التحميل فيها ضعفي المرشحات الرملية السريعة.
- كما أن هناك ترشيح يتم تحت ضغط (89-92).

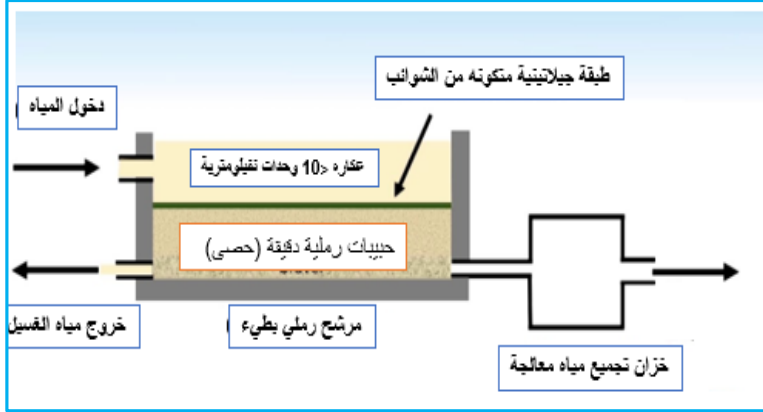
1.2.1.10.2 مرشحات الرمل البطيئة

يعتبر مرشح الرمل البطيء "Slow Sand Filters" من أوائل أنواع المرشحات، إلا أنه لم يعد شائعاً في الوقت الحالي بسبب بطئه الشديد، واحتياجه إلى مساحات أراضي شاسعة، كما أنه غير مناسب في الأجواء الحارة حيث تنمو الطحالب بكثرة، وينحصر استخدامه على ترشيح المياه ذات العكارة المنخفضة، يبين الشكل (71) مخطط مرشح رملي بطيء.

على الرغم من أن مرشحات الرمل البطيئة تحتاج مساحات أراضي تزيد بأكثر من 30 مرة عن مساحة مرشحات الرمل السريعة، إلا أنها تمتاز بعدة مميزات منها:

- انخفاض التكلفة الإنشائية.
- لا تحتاج إلى كيماويات للمساعدة في تجميع الرواسب.
- انخفاض استهلاكات الطاقة أو المياه لعدم الحاجة لإجراء عمليات الغسيل اليومية.
- عدم وجود مشكلات التخلص من مياه الغسيل، حيث يتم تنظيف المرشحات البطيئة على فترات طويلة تمتد لعدة أشهر دون الحاجة إلى عمليات غسيل يومية (89-92).

الشكل (71): مخطط مرشح رملي بطيء



المصدر: Water purification processes using sand demonstrate another green aggregate application

2.2.1.10.2. مرشحات الرمل السريعة

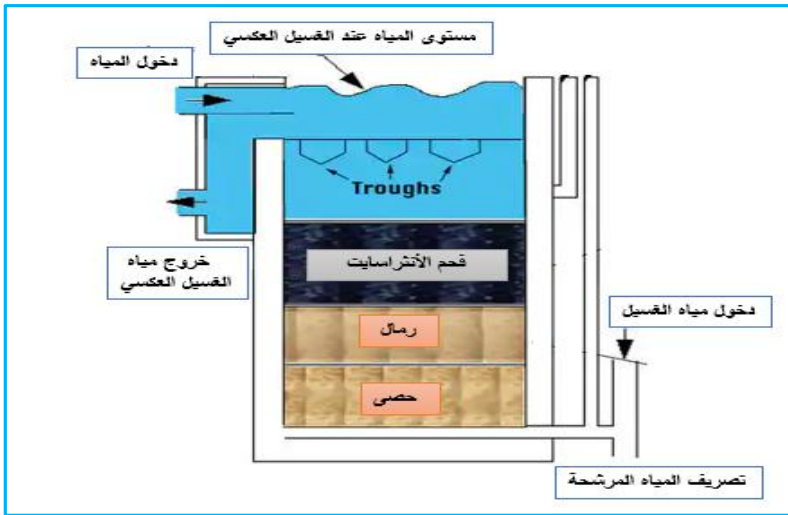
مرشحات الرمل السريعة "Rapid Sand Filters"، وتعرف أيضاً بالمرشحات الميكانيكية، وهي عبارة عن أحواض خرسانية مستطيلة تحتوي عادة على طبقات مختلفة متتالية من الحصى، والرمل، وعادة فحم الأنثراسيت. يوجد في قاع الحوض مصافي لتجميع المياه المرشحة، كما توجد مجموعة صرف "Under Drain System" لتجميع المياه التي يتم ترشيحها خلال جميع أجزاء المرشح، كما أنها تقوم في الوقت نفسه بتوزيع مياه الغسيل على جميع أجزاء المرشح، كما يبين الشكل (72). تستخدم هذه النوعية من المرشحات في حالة أن كميات المياه المراد ترشيحها كبيرة، ويستخدم المرشح السريع ضمن مجموعة معالجة متكاملة تتضمن الترسيب، والتخثر، والترشيح.

تختلف المرشحات البطيئة عن المرشحات السريعة في عدد من الأمور ومنها:

- معدل ترشيح المرشحات السريعة يتراوح ما بين 100-125 م³/م²/يوم، بينما معدل ترشيح المرشحات البطيئة لا يتعدى 3-8 م³/م²/يوم.

- طريقة التنظيف للمرشحات السريعة تتم بعملية الغسيل العكسي في فترة زمنية قصيرة لا تتعدى 10-15 دقيقة، بينما عمليات الغسيل للمرشحات البطيئة تتم عن طريق إزالة الطبقة الجيلاتينية المتكونة فوق سطح الرمال وتستغرق يومين تقريباً.
- التكلفة الانشائية للمرشحات السريعة أقل من المرشحات البطيئة حيث تحتاج إلى مساحات من الأراضي أقل كثيراً من المرشحات البطيئة، غير أن تكلفة التشغيل للمرشحات السريعة أعلى نسبياً من المرشحات البطيئة (89-92).

الشكل (72): مخطط مرشح رملي سريع



المصدر: <http://salilaenvirotech.tradeindia.com/rapid-sand-filter-1594987.html>

إلا أن الفلاتر الرملية لها بعض المشكلات الفنية ومنها:

- تكون فقاعات من الهواء المذاب في الماء داخل وسط الترشيح نتيجة ارتفاع درجة الحرارة، أو بسبب الأكسجين المنطلق من الطحالب المتراكمة في داخل وسط الترشيح، أو بسبب بعض المشكلات الفنية الناتجة عن انخفاض ضغط

المرشح عن الضغط الجوي. يمكن حل مثل هذه المشكلات عن طريق السيطرة على الطحالب بإضافة الكلور، بينما يمكن إشباع الماء بالهواء والمحافظة على درجة الحرارة داخل المرشح.

- تكون طبقة كثيفة ناتجة عن تجمع وتكون كميات من الطين "الوحل" على سطح المرشح، ومع بداية عملية الغسيل العكسي يندفع الطين على شكل كرات كثيفة إلى أسفل المرشح في اتجاه الحصى. يتم علاج هذه المشكلة باستخدام تيار من الماء، والصودا الكاوية، وقد يستخدم تيار قوي من الهواء في بعض الأحيان.

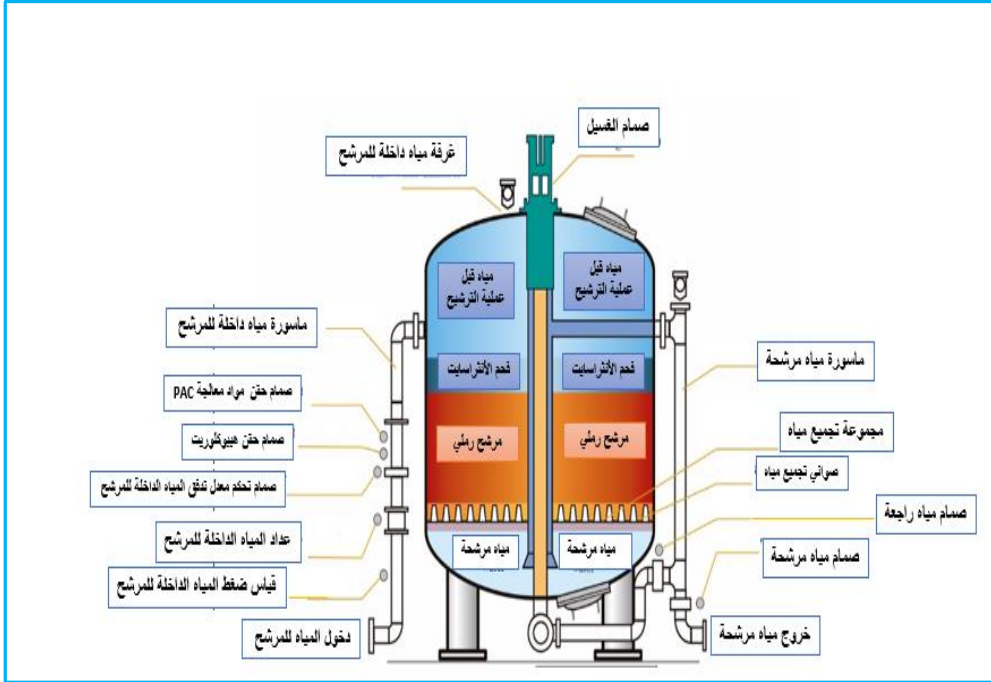
3.2.1.10.2 مرشحات الضغط "Pressure Filters"

تعد مرشحات الضغط أحد أنواع المرشحات السريعة، والتي تعتمد على إجراء عملية الترشيح داخل وعاء مغلق تحت ضغط، وتتشابه مع مرشحات الجاذبية في احتواءها على أوساط ترشيح مع طبقة الحصى الداعمة لوسط الترشيح، مع نظام التصريف وتجميع المياه المرشح، ولكن لا تحتوي على قنوات لتصريف مياه الغسيل، كما يبين الشكل (73) (91).

توضع في مرشحات الضغط طبقات من الرمل، والحصى داخل أسطوانة مغلقة من الصلب في الاتجاه الأفقي أو الرأسي، تتحمل ضغط داخلي لا يقل عن 2 ضغط جوي، وتدخل المياه المراد ترشيحها من أعلى وتمر بطبقات الرمل والحصى إلى أسفله، حيث تتجمع المصافي.

مصطلح "الضغط" لا يعني أنه يلزم إمرار المياه داخل المرشح تحت ضغط عالي، أو أن الضغط الفاقد داخل المرشح عالي، بل أن الماء يمر خلاله تحت أي ضغط مناسب مثل ضغط طلبات المياه العكرة "الضغط المنخفض" (82).

شكل (73): قطاع في مرشح يعمل تحت ضغط



المصدر: <http://www.hitachizosen.co.jp/english/release/2015/12/001953.html>

تستخدم أنواع من الكيماويات بهدف تحسين كفاءة المرشح " الفلتر"، ومن أهم أنواع المواد المستخدمة المواد المانعة لنمو البكتريا والطحالب، والكائنات الحية الدقيقة "Biocides" والتي يؤدي وجودها إلى انسداد مسامات أوساط الترشيح، حيث يستخدم الكلور ومركباته مثل هيبوكلوريت الصوديوم. كما تستخدم بعض المواد المخثرة "Coagulants" لتجميع الدقائق الرغوية الناعمة جداً على شكل ندقات كبيرة يسهل فصلها (91).

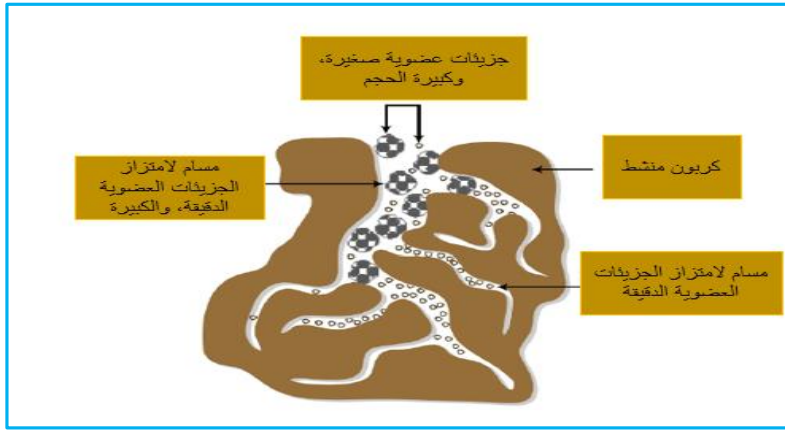
2.10.2. الامتزاز بالكربون المنشط

سبق التعريف بأن الامتزاز هو عملية تجميع المواد الذائبة في محلول على سطح مناسب. تعالج المياه العادمة عادة بالكربون المنشط بعد المعالجة البيولوجية العادية بهدف إزالة

المادة العضوية الذائبة المتبقية أو الجسيمات، والمسببة تغيرات في اللون، والطعم، والرائحة للمياه.

الكربون المنشط من المواد ذات القدرة العالية على الامتزاز، والمساحة السطحية للكربون المنشط التجاري المستعمل على نطاق واسع تتراوح بين 600-1200 م²/جم، ويمكن تعريفه على أنه مائه مسامية نتجت عن خلل في التركيب البلوري أثناء التحضير أدى إلى ظهور مسامات يكون لها القدرة على عملية الامتزاز ⁽⁹⁴⁾. يبين الشكل (74) عملية الامتزاز على الكربون المنشط ⁽⁹³⁾.

الشكل (74): عملية الامتزاز على الكربون المنشط



المصدر: Water treatment technology

يختلف الكربون المنشط عن بقية المواد المسامية مثل السيليكا جل، والألومينا ببعض الصفات مثل احتوائه على جميع أنواع المسام "Pores"، كبيرة الحجم "Macro" التي يمكن ملاحظتها بسهولة عن طريق المجهر الإلكتروني، وحتى الدقيقة "Micro" والتي تشترك في الامتزاز ⁽⁹⁵⁾. تعتمد خواص الامتزاز على حجم مسام الكربون المنشط، حيث تزداد خاصة الامتزاز كلما زاد حجم تلك المسام، وتعتمد أيضاً على حجم مسام الكربون طبقاً لنوع الكربون

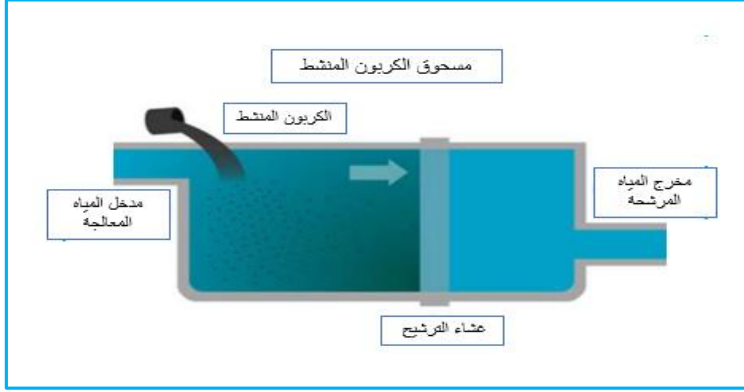
المستخدم وطريقة تنشيطه، وتعمل فلاتر الكربون المنشط بكفاءة أعلى في امتزاز الملوثات ذات الحجم الكبير.

يعد الامتزاز بالكربون المنشط من أرخص الطرق المستخدمة في امتزاز الملوثات، كما بدأت بعض الدراسات في تحضير الكربون المنشط من مصادر جديدة، صديقة للبيئة، ومنخفضة التكلفة. حيث تم تحضير الكربون المنشط من المخلفات النباتية مثل مخلفات نبات الكاسافا "cassava" الغنية بالسليولوز، ومن قشور الجوز، ونوى الخوخ، ونوى الزيتون، وقشور جوز الهند، إضافة إلى الأخشاب ونوى بعض الفواكه مثل المانجو، والكرز، والتمر (93).

يُصنع الكربون المنشط بتسخين الفحم إلى درجات حرارة عالية ومن ثمّ تنشيطه عبر تعريضه لغاز مؤكسّد. ويؤدّي الغاز إلى إنتاج مسام في الفحم بحيث يزيد من مساحة السطوح الداخلية. وينتشر استخدام نوعين من الكربون المنشط هما: الكربون المنشط الحُببيّ يثبت على سرير محشو بالكربون، والنوع الآخر وهو مسحوق الكربون المنشط.

تتم معالجة المياه العادمة باستخدام الكربون المنشط، بإضافة مسحوق الكربون مباشرة إلى المياه في خزان التلامس لبعض الوقت، الذي يتراوح ما بين 5-20 دقيقة، حيث يترسب المسحوق في القاع ويتم إزالته، كما يبين الشكل (75). يمكن إزالة المعادن الثقيلة الناتجة عن بعض العمليات الصناعية وتشمل كل من الزنك، والنيكل، والحديد، والنحاس، والرصاص، والكاديوم، والمنجنيز، بالإضافة إلى المواد العضوية المتطايرة "VOCs" (91).

شكل (75): معالجة المياه العادمة باستخدام الكربون المنشط



المصدر: (94)

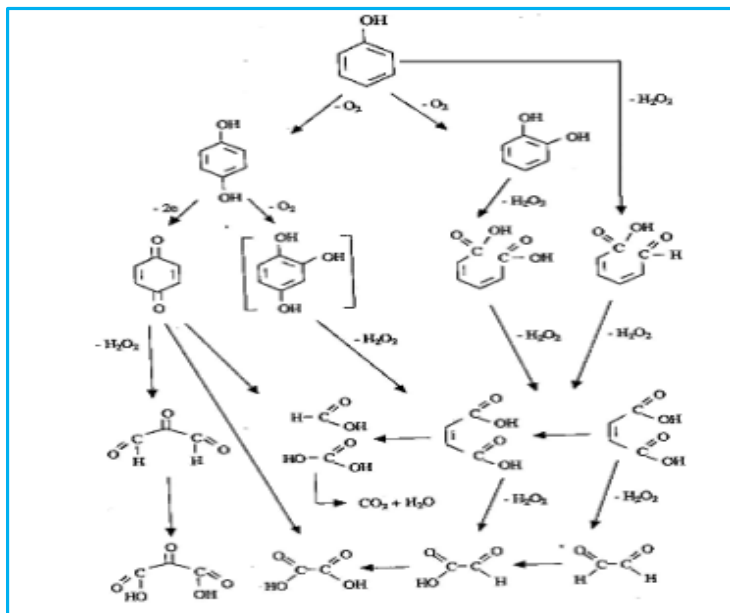
3.10.2. طرق المعالجة بالأكسدة المتقدمة

تشمل طرق الأكسدة المتقدمة "Advanced Oxidation Processes" عديد من الطرق التي تعتمد على تكوين مجموعة الهيدروكسيل "OH"، التي تقوم بأكسدة الملوثات العضوية بمختلف أنواعها، وتتضمن:

1.3.10.2. المعالجة بالأوزون

المعالجة بالأوزون أو ما يطلق عليها الأوزنة " O_3 "، يعمل خلالها الأوزون على أكسدة شوارد الحديد " Fe^{+2} "، والمنجنيز " Mn^{+2} " ليسهل ترسيبها وإزالتها بسهولة، كما يعمل الأوزون على تكسير الفينول ومركباته، وتحويلها إلى مركبات مفتوحة، وثاني أكسيد الكربون، وماء. يبين الشكل (76) أكسدة الفينول من خلال سلسلة من التفاعلات الكيميائية تنتهي بتكوين أحماض كربوكسيلية، أو ثاني أكسيد الكربون (96).

الشكل (76): أكسدة الفينول بالأوزون



المصدر: (96)

يعتمد تفاعل الأكسدة بالأوزون على خصائص المياه المعالجة مثل وجود الأملاح، ودرجة حموضة المياه، ودرجة الحرارة حيث تؤثر هذه العوامل على استقرار الأوزون. هذا ويعيب هذه الطريقة قصر فترة نصف عمر الأوزون التي تبلغ 20 دقيقة (96). يبين الشكل (77) صورة مولدات الأوزون. بينما يبين الشكل (78) حقن الأوزون داخل الوسط المائي بواسطة الناشرات ذات الثقوب الدقيقة.

الشكل (77): صورة لمولدات الأوزون



المصدر: (96)

الشكل (78): حقن الأوزون داخل الوسط المائي بواسطة الثقوب الدقيقة



المصدر: (96)

2.3.10.2. المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية

لم ينتشر استعمال الأشعة فوق البنفسجية "UV" على نطاق واسع في معالجة المياه، وبقي محدوداً لتعقيم مياه الشرب لبعض المنشآت الصغيرة وفي شروط معينة، ومن مميزات هذه الطريقة عدم الحاجة على إضافة مواد كيميائية، والتعقيم بالأشعة فوق البنفسجية لا يكون

ناجحاً إلا إذا كان الماء خالي من المواد العالقة الدقيقة، حيث أن وجودها يعمل على صعوبة انتقال الأشعة وبالتالي عدم التأثير المباشر على الكائنات الحية الدقيقة (96).

تزداد كفاءة المعالجة بالأكسدة بالأشعة فوق البنفسجية إذا ما تكاملت مع طرق أكسدة أخرى مثل الأكسدة بالأوزون، أو بماء الأكسجين، وتعطي نتائج جيدة لأكسدة المركبات العضوية الموجودة في المياه. تستخدم المصابيح الزئبقية لإنتاج الأشعة فوق البنفسجية التي تعطي موجة طولها 254 نانومتر، ويحتوي جهاز المعالجة على عدداً من المصابيح، ويقدر عمر المصباح بنحو 14 ألف ساعة عمل. يبين الشكل (79) مصباح إنتاج الأشعة فوق البنفسجية (96).

الشكل (79): مصباح إنتاج الأشعة فوق البنفسجية



المصدر: (96)

من أهم مميزات المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية أنها لا تستعمل المواد الكيميائية، ولا ينتج عنها مواد ثانوية ضارة، وهي سهلة الاستخدام، ومنخفضة التكلفة نسبياً. يبين الشكل (80) وحدة المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية بأحد محطات المعالجة.

الشكل (80): وحدة المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية بأحد محطات المعالجة



المصدر: Wastewater treatment and reuse in the oil & petrochemical industry – a case study, Engineering Conferences International, Spring 6-13-2014

3.3.10.2. طرق معالجة أخرى

كما توجد طرق معالجة أخرى تدرج تحت مسمى طرق الأكسدة المتقدمة مثل المعالجة بالموجات فوق الصوتية "US"، والمعالجة بمركبات فوق أكسيد الهيدروجين – الماء الأكسجيني-"H₂O₂"، كما يمكن استخدام مزيج من بعض طرق الأكسدة مثل "UV/H₂O₂"، أو "UV/H₂O₂/O₃"، أو "UV/O₃" (96).

4.10.2. الأكسدة بالكلور

تعد عملية الأكسدة بالكلور "الكلورة"، الوسيلة التقليدية لتعقيم المياه المعالجة، وهي الخطوة الأخيرة لعملية التعقيم قبل أن تخرج المياه من محطة المعالجة. تعتمد على إضافة كمية محسوبة من الكلور، أو مركب كلوري، "هيبوكلوريت الصوديوم" أو ما يطلق عليه "ماء جافيل"، أو هيبوكلوريت الكالسيوم.

يقتل الكلور طيف واسع من الجراثيم المسببة للأمراض، كما يمكن تعريض المياه للأشعة فوق البنفسجية، كوسيلة للتعقيم، ولكن هذه الطريقة لا تتمتع بالفعالية الكافية، وخصوصاً عندما تكون المياه غير صافية بدرجة كافية، أو لا تزال تحتوي على بعض الجزيئات الصلبة، بينما يعتبر التعقيم بالأوزون الطريقة الأحدث والأعلى فعالية.

5.10.2. تصريف السائل الصفري

ظهر مفهوم التصريف السائل الصفري، أو ما يطلق عليه التصريف الصفري للسائل "ZLD"، أو ما يعرف في بعض الأدبيات العربية بمصطلح التدوير الكامل للمياه في عام 1970 في الولايات المتحدة الأمريكية مدفوعاً بالاعتبارات والقيود البيئية الصارمة، حيث صدرت تشديدات ولوائح فيدرالية تتعلق بالقيود على صرف الأملاح على المياه السطحية، وخاصة بعد أن سببت ارتفاع نسبة الملوحة في نهر "كولورادو"، الناتجة عن صرف مياه تفوير أبراج التبريد في محطات إنتاج الطاقة بالولاية، مما نتج عنه تشييد أول وحدة تعمل بمبدأ التصريف الصفري للسائل بطاقة 500-2000 جالون/ دقيقة.

مع تزايد المعايير البيئية التي تنفذها الشركات، والتي تنص على منع تصريف ملوثات الأملاح، والملوثات السامة، والنترات، والنترت،... الخ. أصبحت هذه التقنية الآن أكثر استخداماً في عديد من دول العالم. كما تزايد الاهتمام بتقنيات التصريف الصفري للسائل عند زيادة الوعي البيئي والمسؤولية المجتمعية نحو القضايا البيئية. قد تبدو التكلفة الاستثمارية والتشغيلية لتقنيات

التصريف الصفري للسائل مرتفعة، نظراً للاستهلاكات الضخمة من الطاقة (حيث تستهلك حوالي 10-20 كيلوواط ساعة/م³، مقابل 2-3 كيلوواط ساعة/م³ في تقنيات تحلية المياه)، إلا أنها قد تكون حلاً اقتصادياً مقبولاً، وخاصة عندما يكون البديل نقل المياه العادمة لمسافات طويلة لإجراء عمليات معالجتها في وحدات معالجة خارجية. كما يمكن أن تساعد الشركات على التعامل مع العديد من التحديات مثل ارتفاع تكاليف الحصول على المياه اللازمة، وندرتها في كثير من الأحوال.

يعيب تقنيات التصريف الصفري أنه لا يوجد تصميم قياسي ثابت للتقنيات المستخدمة في عمليات المعالجة لكل الصناعات، بحيث تكون ثابتة لكل أنواع المياه العادمة، فتختلف التصميمات من صناعة لأخرى طبقاً لمواصفات المياه العادمة وخصائصها. هذا وتعد تقنية التصريف الصفري للسائل مناسبة لطيف واسع من الصناعات، وتشمل إنتاج الطاقة، وصناعات التكرير، والبتروكيماويات، والأسمدة، والتعدين، وإنتاج الأغذية، حيث تتوفر مجموعة متنوعة من المعدات والتقنيات لمعالجة مختلف أنواع المياه العادمة.

على الرغم من أن كل نظام "ZLD" سيكون مختلفاً طبقاً لأنواع الملوثات بالمياه العادمة، إلا أن العديد منها سيشمل مرحلة ما قبل المعالجة، ومرحلة تبخير لإزالة معظم الماء، ومرحلة تركيز أو بلورة أخرى لإنتاج المخلفات الصلبة النهائية. تركز المعالجة المسبقة غالباً على إزالة العناصر العضوية وأي مواد كيميائية يمكن أن تلحق الضرر بعمليات التبخير أو المعدات الأخرى في وقت لاحق من العملية.

قد يلزم إجراء معالجة مسبقة للمياه قبل عمليات التدوير الكامل للمياه، لذا فيمكن استخدام معظم طرق المعالجة التقليدية الشائعة للمياه، مثل تعديل رقم الأس الهيدروجيني، والترشيح، والتخثير "التنديف"، والمعالجة بالأغشية، والأكسدة، والفصل والترسيب، والهضم اللاهوائي والهوائي.

كانت عمليات التصريف الصفري للسائل تتم بالطرق التقليدية، وتشمل سلسلة من طرق المعالجة كالتبخير "باستخدام المبخرات الميكانيكية تحت الضغط - MVC"، وهي الطريقة الرئيسية المستخدمة في المعالجة، ويمكن بهذه الطريقة استرجاع نحو 95 % من المياه العادمة كمياه مقطرة. ثم تتم معالجات أخرى لتركيز المتبقي من عمليات التبخير، باستخدام طرق بلورة مختلفة سواءً فيزيائية أو كيميائية لإنتاج مخلفات صلبة (بلورات)، وماء. تصل كميات الاسترجاع بتطبيق هذه الطرق من المعالجة إلى نحو 100% من المياه، ويمكن فصل المواد الصلبة المتبقية والتخلص منها بدفنها في المدافن (97).

تم التغلب على التكلفة الاستثمارية والتشغيلية المرتفعة للطرق التقليدية لعمليات التصريف الصفري للسائل، عن طريق تم إدخال بعض التقنيات المساعدة لعمليات التبخير، تحت مسمى نظام الهجين، وفيه تم إدخال تقنيات أخرى وتشمل:

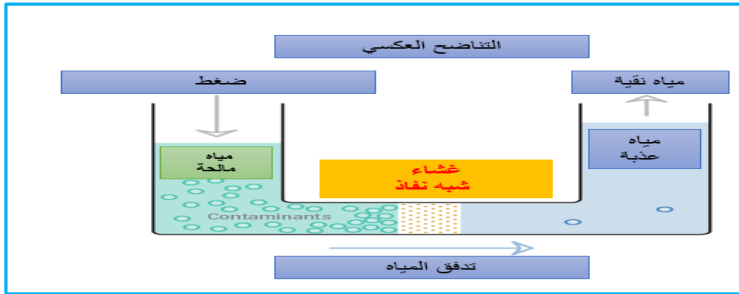
1.5.10.2. تقنية التناضح العكسي " الارتشاح " (RO)

الأغشية البوليمرية ذات أهمية قصوى في تطبيقات الصناعة مثل تحلية المياه، وفصل الأملاح، والمعالجة، ويعد التناضح العكسي من أهم طرق الأغشية البوليمرية. كان أول إعلان عن استخدام خاصية التناضح العكسي هو براءة اختراع بالاسم نفسه لإزالة عسر الماء "Softening" باستخدام أغشية السيانيد الحديدي على مثبتات مسامية من البورسلين، وفي عام 1952 أنتج في جامعة فلوريدا أغشية مصنعة من " أسيتات السيليلوز " لتحلية مياه البحر بالتناضح العكسي. وفي ستينيات القرن الماضي تم إنتاج الأغشية الملفوفة "Spiral wound"، وفي السبعينيات ظهرت أغشية الشعيرات الدقيقة المجوفة "hallow fine fiber" مصنعة من مادة البولي أميد. تتميز طرق التحلية بالأغشية عموماً بانخفاض الطاقة المستخدمة مقارنةً بطرق التحليل الحرارية (102).

تعتمد طريقة التناضح العكسي على الخاصية الأسموزية، حيث تستخدم الضغوط الواقعة على أسطح الأغشية للتغلب على الضغط الأسموزي الطبيعي للماء، حيث أنه إذا وضع غشاء شبه نفاذ بين محلولين متساويين في التركيز تحت درجة حرارة وضغط متساويين لا يحدث أي مرور للمياه عبر الغشاء نتيجة تساوي الجهد الكيميائي على جانبيه، وإذا ما أضيف ملح قابل للذوبان لأحد المحلولين ينخفض الضغط ويحدث تدفق أسموزي للماء من الجانب الأقل ملوحة إلى الجانب الأكثر ملوحة حتى يعود الجهد الكيميائي إلى حالة التوازن السابقة.

ويحدث هذا التوازن عندما يصبح فرق الضغط في حجم السائل الأكثر ملوحة مساويا للضغط الأسموزي، وهي خاصية من خواص السوائل ليس لها علاقة بالغشاء. وعند توجيه ضغط مساو للضغط الأسموزي على سطح المحلول الملحي يتم التوصل أيضا إلى حالة التوازن ويتوقف سريان المياه من خلال الغشاء. وإذا رفع الضغط إلى أكثر من ذلك فإن الجهد الكيميائي للسائل سيرتفع ويسبب تدفقا عكسيا للماء من المحلول الملحي باتجاه المحلول الأقل ملوحة وهو ما يعرف بالتناضح العكسي. تصل كفاءة طريقة التناضح العكسي في التخلص من الأملاح إلى أكثر من 99%، وكذلك فإن أغشية التناضح العكسي لها قدرة على التخلص من البكتيريا، والجراثيم، والعناصر الضارة الموجودة في المياه. يبين الشكل (81) تقنية التناضح العكسي (98).

الشكل (81): تقنية التناضح العكسي



المصدر: (98)

ذكرنا سابقاً أنه تم تطوير الأغشية التي تستخدم في عمليات الفصل الغشائي، إلا أن معظم هذه الأغشية تصنع أساساً من مادة البولي أميد "Polyamide" أو من مادة أسياتات السيليلوز "Cellulose Acetate" وقد كانت هناك بعض الأغشية تصنع من كحول البولي فينيل "Polyvinyl Alcohol" أو من بعض البولييمرات مثل النايلون، إلا أن مادتي السيليلوز، والبولي أميد أصبحتا البدائل الأكثر انتشاراً واستخداماً. ولقد تم تطوير أغشية مصنعة من ثنائي وثلاثي أسياتات السيليلوز لتلبي احتياجات العديد من الصناعات. غير أن من أهم مشاكل أغشية السيليلوز تأثرها الشديد بالتلوث البيولوجي كالطحالب، والبكتيريا مما يسبب انسدادها وحاجتها للغسيل الكيماوي أو المعالجة المسبقة بالتعقيم.

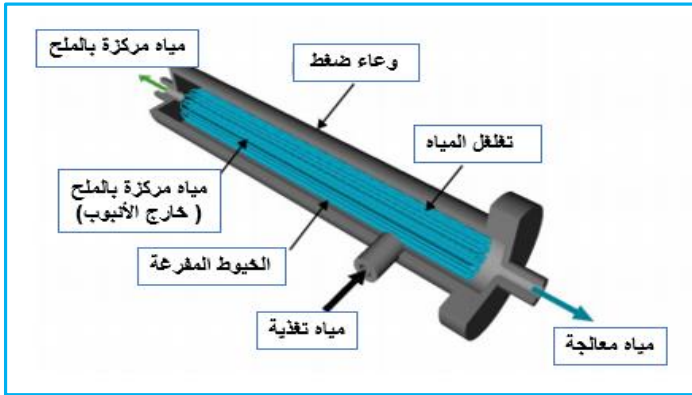
كما تتأثر أغشية السيليلوز كثيراً بدرجة الحموضة أو القاعدية، حيث يحدث لها عملية إماهة "Hydration" عند درجات الحموضة أو القاعدية المنخفضة. لكن تمتاز أغشية السيليلوز بعدم تأثرها الكبير بالعوامل المؤكسدة مثل الكلورين ومركباته المختلفة، وفي المقابل تمتاز أغشية البولي أميد بقدرتها على تحمل درجات حموضة واسعة المدى تتراوح ما بين 4-11، ولذلك تتحمل الاختلاف والتباين الشديد في درجات الحموضة خلال عمليات التشغيل والغسيل بالمواد الكيماوية (98).

يتم تصنيف الأغشية إلى نوعين رئيسيين هما، الأغشية اللولبية الملفقة "Wound Spiral"، والأغشية ذات الخيوط المفرغة (الشعيرات المجوفة) "Hollow Fiber"، وهناك النوع التقليدي القديم وهو الأغشية الأنبوبية "Tubular"، حيث يكون الغشاء على شكل أنبوب يدخل في اسطوانة مسامية تقوم بمثابة دعامة للغشاء، حيث ينفذ الماء من الخلف وينساب من خلال فتحات في الأسطوانة حيث يتم تجميعه، بينما يبقى الماء المالح خارج الأنبوب والغشاء.

تمتاز الأغشية الأنبوبية بسهولة تنظيفها، إلا أن من أهم عيوبها ارتفاع نسبة الحجم إلى مساحة السطح، بينما يلزم خفض الحجم لزيادة الضغط اللازم لتوليد هذه الأغشية لذا لم يعد استخدام هذه الأغشية شائعاً.

تتكون الأغشية ذات الخيوط المفرغة "Hollow Fiber" من عدد هائل من الألياف المجوفة على شكل حرف "U" حول أنبوب مسامي مركزي، يدخل من خلاله الماء المالح تحت الضغط ويوزع بالتساوي فوق سطح الأنبوب. يعمل الضغط على إجبار الماء على المرور من خلال جدران الألياف إلى الفراغ الداخلي لها ومن هناك يتم سريان الماء إلى طرفي الخيط المفرغ المفتوحين إلى صفيحة تجميع للمياه المعالجة في الجهة المعاكسة لدخول المياه المالحة، أما الماء المركز بالملح فيجري من خلال قناة دائرية على المحيط الخارجي لهيكل الخيوط ثم تخرج من نفس جهة دخول الماء الخام إلى التصريف. كما يبين الشكل (82).

شكل (82): الأغشية ذات الخيوط المفرغة المستخدمة في عمليات التناضح العكسي

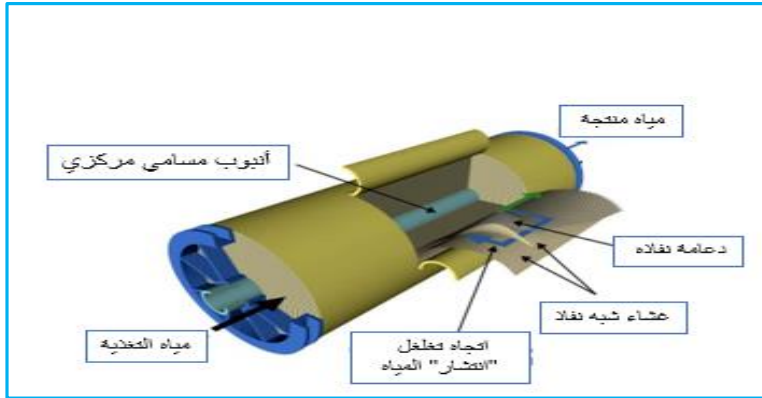


المصدر: Reverse Osmosis Optimization, Us department of energy, august 2013,

تعد الأغشية اللولبية "Wound Spiral" تطوراً للأغشية الأنبوبية حيث يوضع غلاف مسامي غير قابل للانضغاط بين صفيحتين من الأغشية ملتصقتين بحوافهما حول الغلاف المسامي بمادة لاصقة، ويلف الشريط الناتج لولبياً حول أنبوب مثقب. يوضع المحلول الملحي تحت ضغط في وحدة التناضح حيث يمر محورياً على امتداد طول الغشاء من خلال دعامة نفاذه "Spacer" إلى الشريط اللولبي ماراً خلال الغشاء إلى الغلاف المسامي الذي يعمل على

تجميع الماء من طبقات الأغشية وينقلها الى أنبوب التجميع المركزي من خلال ثقوب صغيرة على امتداد الأنبوب، كما يوضح الشكل (83).

شكل (83): الأغشية اللولبية المستخدمة في عمليات التناضح العكسي



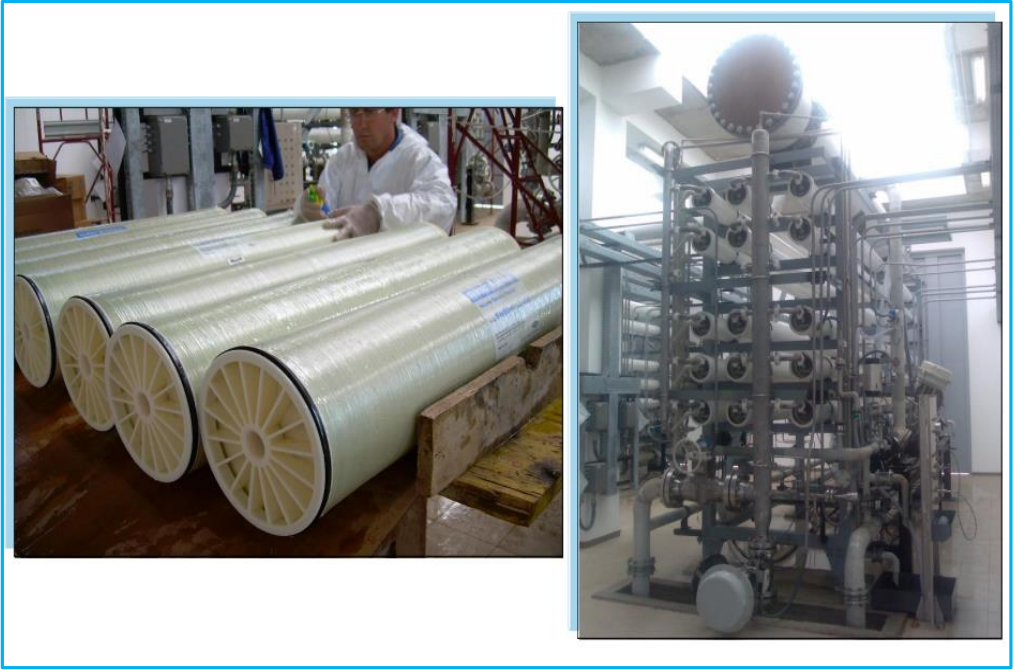
المصدر: Reverse Osmosis Optimization, Us department of energy, august 2013, (99).

يكون القطر الداخلي للألياف المفرغة "Hollow Fiber" حوالي 40-50 ميكرون، والقطر الخارجي لها يبلغ 85-100 ميكرون، لذا تمتاز هذه النوعية من الأغشية بزيادة نسبة المساحة التي يمر بها الماء إلى حجم الألياف، والتي تصل إلى نحو 5000 قدم² / قدم³ من الخيوط، بينما هذه النسبة في النوع اللولبي تكون حوالي 300 قدم² / قدم³ (99).

تستخدم مضخات ضغط عالي لتمرير الماء النقي عبر الغشاء وحجز الملح. وتستخدم عادة مضخات طاردة متعددة المراحل "Multi – stage centrifugal" أو مضخات ذا الإزاحة الموجبة "Positive displacement"، مثل المضخات ذات المكبس "Piston pump". يتوقف اختيار نوع المضخة على نوعية الماء المالح ودرجة ملوحته فكلما كانت درجة الملوحة عالية كان الضغط المطلوب عاليا. زيادة الضغط تؤدي إلى الحصول على إنتاجية أعلى من المياه العذبة، لكن على حساب نوعية هذه المياه بمعنى أن نسبة الملح الذائبة في الماء الناتج سترتفع. وتستخدم عادة ضغوط تتناسب مع قوة ومتانة الغشاء، حيث أنه في حالة تجاوز هذه الضغوط

سيعمل ذلك على تلف الغشاء وتهتكه، كما أن استخدام ضغوط قليلة غير مناسبة لهذا الغشاء قد تقلل من إنتاجية الوحدة وانخفاض كفاءتها. وكقاعدة عامة تستخدم مضخات ذات ضغوط تتراوح ما بين 17-25 بار إذا كانت ملوحة الماء متوسطة، وتستخدم ضغوط تتراوح ما بين 45-80 بار إذا كان الماء مالحة جداً، بينما تستخدم ضغوط أقل من 17 بار للمياه قليلة الملوحة (99-100).
يبين الشكل (84) جانب من إحدى وحدات التناضح العكسي.

الشكل (84): جانب من إحدى وحدات التناضح العكسي

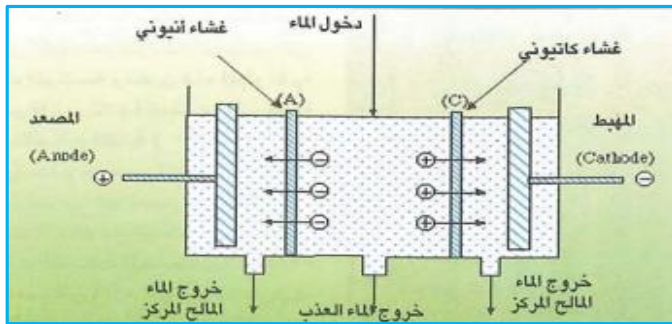


المصدر: Engineering Wastewater treatment and reuse in the oil & petrochemical industry – a case study, Conferences International, Spring 6-13-2014

2.5.10.2. الانتشار الغشائي الكهربائي " الديليزة الكهربائية "

الانتشار الغشائي الكهربائي، أو الفرز الغشائي الكهربائي، أو ما يعرف أيضاً بالديليزة الكهربائية "Electrodialysis"، هي تكنولوجيا قديمة نسبياً تعتمد على انتقال الأيونات الموجبة الموجودة في الماء عبر غشاء شبه نفاذ يسمى الغشاء الكاتيوني "Cationic Membrane"، لا يسمح هذا الغشاء إلا بتمرير الأيونات الموجبة باستخدام قطب كهربائي سالب "Cathode"، وفي المقابل تنتقل الأيونات السالبة عبر غشاء أنيوني "Anionic Membrane" منجذبة نحو القطب الموجب "Anode"، وبذلك يتم فصل شوائب الأملاح عن الماء، ويبقى الماء العذب بين الغشائين الذي يتم تجميعه وسحبه من الوحدة وهكذا تستمر العملية كما هو موضح في الشكل (85).

الشكل (85): خلية الديليزة الكهربائية

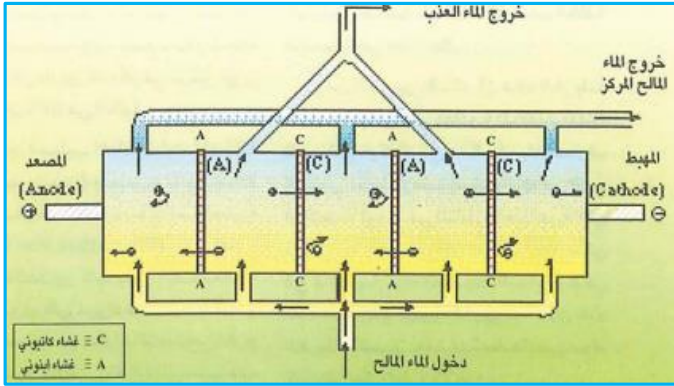


المصدر: الفرز الغشائي الكهربائي

إنتاجية خلية الفرز الكهربائي الواحدة محدودة، لذلك فإنه يتم استخدام أكثر من خلية للوصول إلى مستوى الإنتاج المطلوب، لذا فإن وحدات الفرز الكهربائي تتكون من عدد من الخلايا. تتركب وحدات الفرز الكهربائي من عدد من الحجرات الضيقة التي يضخ فيها الماء المراد معالجته من خلالها، وتنفصل هذه الحجرات عن بعضها البعض بواسطة أغشية شبه نفاذة، تسمح بمرور "تنفذ" نوع واحد فقط من الأيونات، حيث بعضها ينفذ الأيونات الموجبة

فقط، ويسمى الأغشية الكاتيونية "Cationic membrane"، أما البعض الآخر فينفذ الأيونات السالبة ويسمى بالأغشية الأنيونية "Anionic membranes"، وعندما يمر التيار الكهربائي في هذه الخلايا فإن الأغشية شبه النفاذة تقوم بحجز الأيونات على شكل شوائب في الحجيرات الصغيرة المخصصة لذلك في الخلية، وفي نهاية العملية تتجمع المياه النقية في الحجيرات الخاصة بها، بينما تتواجد الأملاح، والكاتيونات، أو الأنيونات في الحجيرات المجاورة، كما يبين الشكل (86).

الشكل (86): الوحدة الصناعية للفرز الكهربائي



المصدر: الفرز الغشائي الكهربائي

تعد طريقة الفرز الكهربائي مناسبة لمعالجة مياه الصرف الصناعي وخاصة مياه الغلايات، لأن هذه الطريقة لا تعتمد على استخدام مواد كيميائية مثل الطرق الأخرى، غير أن هناك عوامل كثيرة أدت إلى عدم انتشار هذه الطريقة مثل التكلفة العالية للأغشية، وتكاليف التشغيل والصيانة، وتغير الصفات الفيزيائية والكيميائية للماء، مثل ارتفاع القلوية والتي تساعد على حدوث الترسبات الكلسية في الأنابيب والأوعية. يبين الشكل (87) جانب من وحدة صناعية لمعالجة المياه بتقنية الفرز الكهربائي.

الشكل (87): جانب من وحدة صناعية لمعالجة المياه بتقنية الفرز الكهربائي

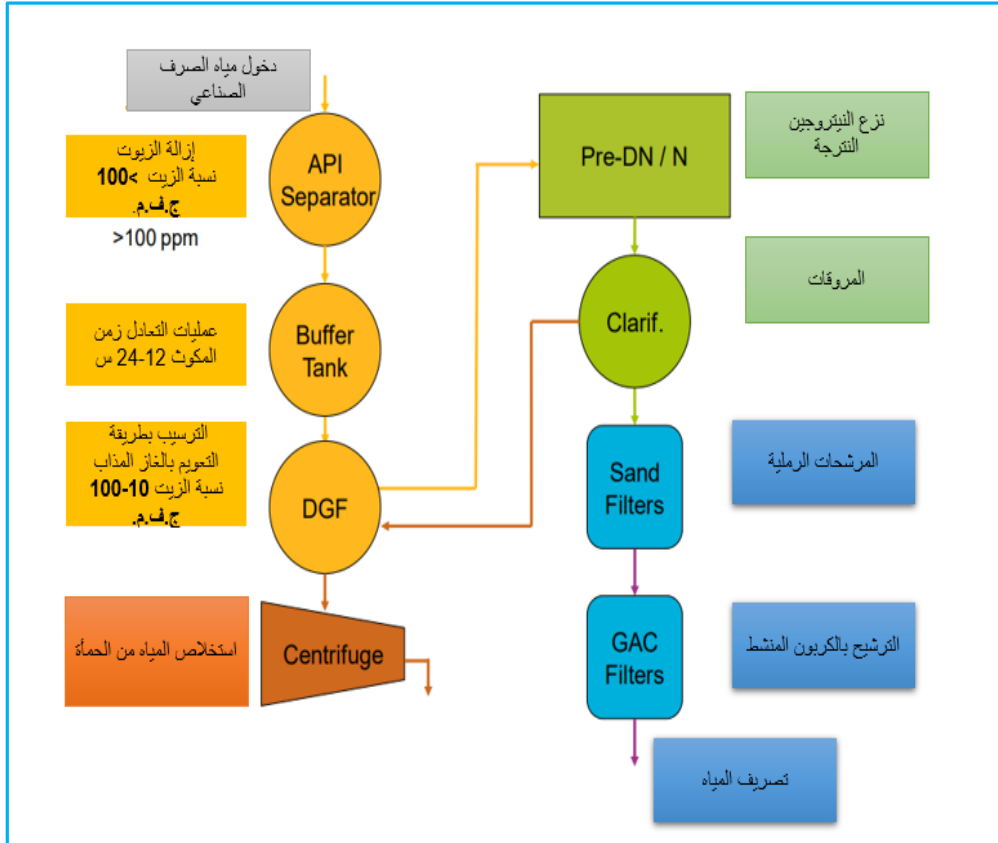


المصدر: الفرز الغشائي الكهربائي

11.2. مخطط معالجة مياه الصرف الصناعي في صناعات التكرير والبتروكيماويات

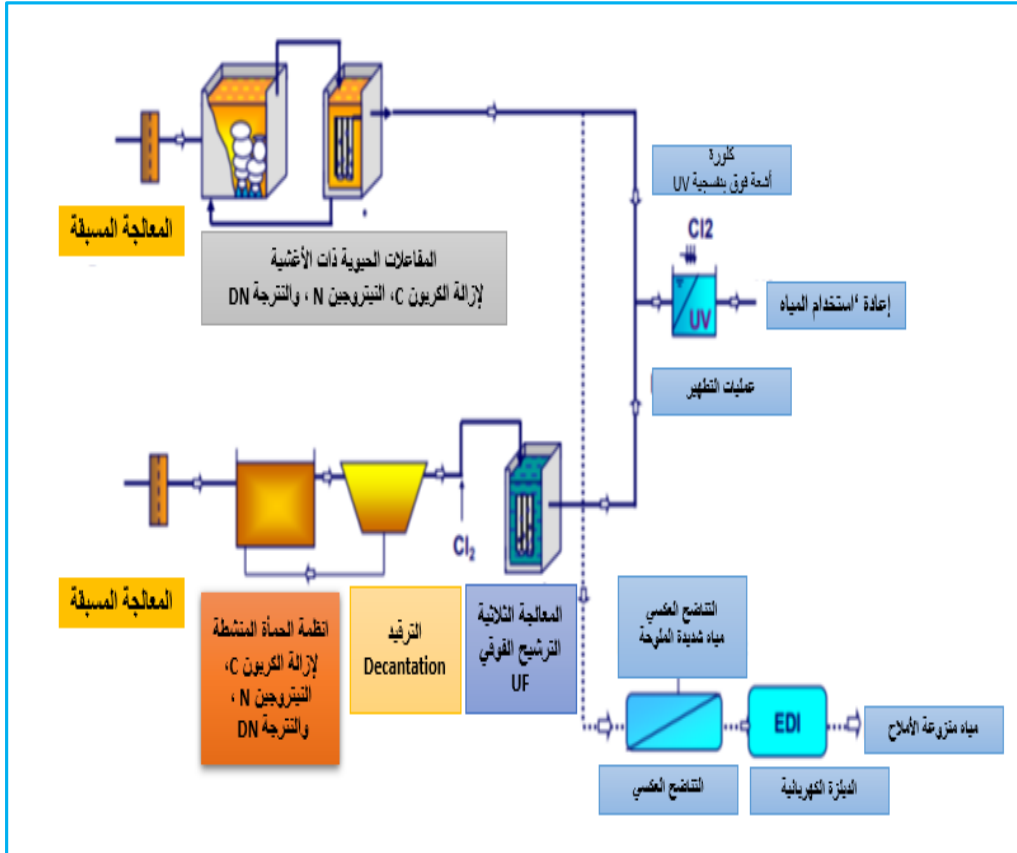
معالجة مياه الصرف الصناعي في صناعات التكرير والبتروكيماويات عملية معقدة، وخاصة مع تزايد متطلبات وتحديات القوانين البيئية الصارمة، وغالباً ما تتطلب مياه الصرف الصناعي لصناعة البتروكيماويات مزيجاً من طرق المعالجة لإزالة الزيوت، والملوثات الأخرى قبل عمليات صرفها على المسطحات المائية. قد تشمل محطات، ووحدات معالجة مياه الصرف الصناعي، أنظمة معالجة التعادل، والتخثر/التثقيب، والطفو/الترسيب/الترشيح، الترويق، والمعالجة البيولوجية (هوائية/لاهوائية/حمأة منشطة)، وقد تكون هناك حاجة أيضاً إلى خطوات معالجة أخيرة باستخدام الترشيح، أو الأوزون، أو الكربون المنشط، أو المعالجة الكيميائية. **يبيّن الشكل (88)** مخطط خطوط وحدات/محطات المعالجة التقليدية لمياه الصرف الصناعي في صناعات التكرير والبتروكيماويات، بينما **يبيّن الشكل (89)** مخطط معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصناعي في صناعات التكرير والبتروكيماويات، و**يبيّن الشكل (90)** مخطط وحدات معالجة مياه الصرف الصناعي في أحد مصانع البتروكيماويات. (103)

الشكل (88): مخطط خطوط وحدات/ محطات المعالجة التقليدية لمياه الصرف الصناعي في صناعات التكرير والبتروكيماويات



المصدر: Engineering Wastewater treatment and reuse in the oil & petrochemical industry – a case study, Conferences International, Spring 6-13-2014

الشكل (89): مخطط معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصناعي في صناعات التكرير والبتروكيماويات



المصدر: Wastewater treatment and reuse in the oil & petrochemical industry – a case study, Engineering Conferences International, Spring 6-13-2014

الشكل (90): مخطط وحدات معالجة مياه الصرف الصناعي في أحد مصانع البتروكيماويات



المصدر: Engineering Wastewater treatment and reuse in the oil & petrochemical industry – a case study, Conferences International, Spring 6-13-2014



الفصل الثالث

دراسات حالة

**لمعالجة مياه الصرف الصناعي
في صناعة البتروكيماويات**

الفصل الثالث

دراسات حالة

لمشروعات معالجة مياه الصرف الصناعي في صناعة البتروكيماويات

تمهيد

يستعرض هذا الفصل نموذجان يشملان دراسات حالة لشركتان تعملان في قطاع صناعة البتروكيماويات في جمهورية مصر العربية، تبنت مفهوم معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصناعي بنظام التدوير الكامل لمياه الصرف الصناعي، إحداهما شركة إنتاج أوليفينات والبولي أوليفينات، بينما الشركة الأخرى لإنتاج الأسمدة النيتروجينية.

1.3 إعادة التدوير الكامل للمياه في إحدى شركات إنتاج البولي أوليفينات

في ضوء السياسات العامة لترشيد استهلاك المياه العذبة في الصناعات، وتقليل نسب كميات صرف مياه الصرف الصناعي على المسطحات المائية، بهدف تقليل التأثير السلبي على البيئة، ولتقليل التكلفة التشغيلية السنوية لمجمعات المرافق. قامت أحد شركات إنتاج الأوليفينات، والبولي أوليفينات، بعمل تصميمات لمشروع معالجة مياه الصرف الصناعي، بنظام التدوير الكامل للمياه، اعتماداً على استغلال الفائض المتاح من مياه الصرف الصناعي لدى الشركات الشقيقة المجاورة لها، لتحقيق سياسة التكامل بين الشركات، ولتعظيم الاستفادة من الإمكانيات المتاحة لديها، وبالتالي خفض التكلفة الاستثمارية اللازمة لإنشاء مشروع جديد لمأخذ مياه، ومحطة رفع، ووحدات معالجة أولية من مروبات، ومرشحات رملية.

وعلى ذلك قررت الشركة شراء الكمية المطلوبة من المياه من الشركات المجاورة لتغذية مرافق المجمع بها، بحيث يتم إعادة استخدام مياه الصرف الصناعي بعد معالجتها في عمليات التبريد في أبراج التبريد، أو عمليات المعالجة لإنتاج مياه فائقة النقاوة لإنتاج مختلف أنواع البخار، أو استخدامها في العمليات الصناعية.

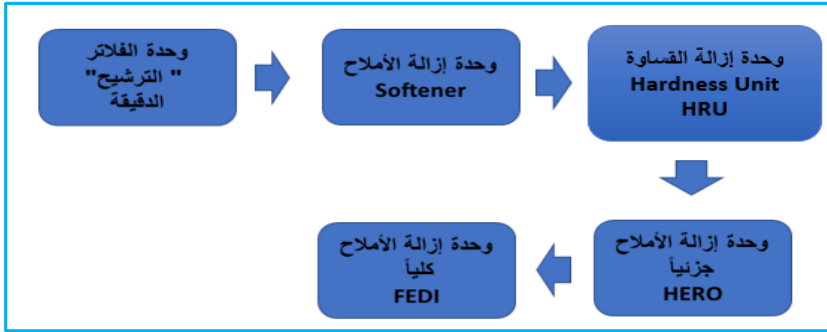
قامت الشركة باتخاذ قرار استراتيجي وهو ضرورة إعادة استخدام مياه الصرف الصناعي بعد التخلص من الملوثات الموجودة بها في صورة أملاح صلبة بعد نزع كامل المياه منها "استرداد" لإعادة استخدامها مرة أخرى، وبهدف ترشيد كمية المياه المطلوبة، فضلاً عن تلبية الاشتراطات البيئية، وفي هذا الصدد انتهجت الشركة استراتيجية التدوير الكامل للمياه ليس عن طريق إضافة معدات للتخلص من المخلفات، حيث أنها طريقة بدائية ومكلفة جداً، فلجأت إلى تعظيم دور التكنولوجيا الحديثة للوصول إلى أعلى إنتاجية بأقل كمية من المخلفات السائلة وذلك للوصول إلى أقل سعة ممكنة لمعدات التبخير. وذلك باستخدام أحدث طرق المعالجة والتي تطبق لأول مرة في جمهورية مصر العربية وهو نظام التصريف الصفري للسائل "ZLD".

1.1.3 وحدة معالجة المياه بمجمع البتروكيماويات

تتكون وحدة معالجة المياه بالمجمع، كما يبين مخطط الشكل (91) من:

- وحدة الفلاتر " الترشيح " الدقيقة "Microfiltration".
- وحدة إزالة أملاح الكالسيوم، والمغنيسيوم من المياه " Softener and Hardness Removal".
- وحدة إزالة الأملاح جزئياً "High Efficiency Reverse Osmosis-HERO".
- وحدة إزالة الأملاح كلياً "Fractional Electro de-ionization Unit".

الشكل (91): مخطط مكونات وحدة معالجة المياه



المصدر: (104)

1.1.1.3 وحدة الفلاتر " الترشيح " الدقيقة "Microfiltration"

تتكون وحدة الفلاتر من 6 خطوط، كل خط به 80 وعاء " مرشح "، كما يبين **الشكل (92)**، كما تحتوي على خزان تعادل لتجميع المياه به، وعدد ثلاث مضخات رأسية تقوم بتدفع المياه إلى وحدة الفلاتر. تعمل هذه الوحدة على إزالة العوائق الموجودة بالمياه، والعكارة عن طريق إمرارها خلال وسط يسمح بمرور المياه فقط، ولا يسمح بمرور العوائق.

الشكل (92): وحدة الفلاتر " الترشيح " الدقيقة "Microfiltration"



المصدر: (104)

2.1.1.3. وحدة إزالة الأملاح جزئياً

معدلات الاسترجاع "Recovery Ratio" لوحدة التحلية بالأنظمة التقليدية للمياه متوسطة الملوحة "Brackish Water" لا تتعدى 75 % من قيمة مياه التغذية الداخلة إلى الوحدة، وبالتالي يكون هناك حوالي 25% من مياه التغذية في صورة مخلفات سائلة ذات درجات ملوحة مرتفعة. وتحدد نسبة الاسترجاع عن طريق نسبة الملوحة والحد الأمن للتشغيل، بحيث لا توجد أملاح ذائبة في صورة مركزة تتجاوز نسبة ائزان الذائب، وبالتالي يؤدي ذلك إلى ترسبها، وتتكون رواسب على أغشية المراحل الأخيرة لوحدة التحلية.

لذلك تطورت التكنولوجيات، وظهرت تكنولوجيا إزالة الأملاح جزئياً "High Efficiency Reverse Osmosis- HERO"، والتي تغلبت على تكون الترسبات، فعملت على إزالة مسببات التكلس "الترسيب" من المياه المدفوعة على أغشية التحلية، ذلك عن طريق إزالة عسر الماء، وبالتالي يمكن رفع معدلات الاسترجاع للأغشية الأسموزية إلى نحو 97%، وهو ما تم تطبيقه بوحدة الأغشية بالمجمع، حيث يتم رفع قيمة الأس الهيدروجيني P^H ، مما يعمل على إزالة مسببات الترسيب البيولوجي "Biological Fouling"، وهو ما تم تطبيقه بالوحدة.

3.1.1.3 وحدة إزالة أملاح الكالسيوم والماغنيسيوم من المياه "Softener and HRU units"

تتكون الوحدة من عدد أربعة أو عية ابتدائية من مزيلات عسر الماء "Softener"، تحتوي على راتنجات موجبة تستخدم في عملية التبادل الأيوني لإزالة أملاح الكالسيوم، والماغنيسيوم إلى أقل من 20 ج.ف.م، وتتكون أيضاً من عدد أربعة أو عية نهائية من مزيلات عسر الماء "Hardness Removal Unit" تحتوي على راتنجات موجبة تستخدم في عملية التبادل الأيوني لإزالة أملاح الكالسيوم، والماغنيسيوم إلى أقل من 0.5 ج.ف.م، يبين الشكل (93) وحدة إزالة أملاح الكالسيوم والماغنيسيوم من المياه.

الشكل (93): وحدة إزالة أملاح الكالسيوم والماغنيسيوم من المياه

"Softener and HRUU nits"



المصدر: (104)

4.1.1.3 وحدة التناضح العكسي "RO"

تتكون الوحدة من:

- عدد ثلاث أبراج لإزالة الغازات "Degasser tower"، كما في **الشكل (94)**.
- عدد أربعة خطوط "إنتاجية الخط الواحد 220 م³/ساعة" من المياه منزوعة الأملاح جزيئاً، وتستخدم هذه المياه كمصدر لتغذية وحدة إزالة الأملاح كلياً "FEDI"، وأيضاً لتخزين المياه في الصهاريج الخاصة بتعويض مياه حوض برج التبريد. **يبيّن الشكل (95)** خطوط المياه منزوعة الأملاح جزيئاً.

5.1.1.3 وحدة إزالة الأملاح كلياً

تعتمد فكرة عمل وحدة إزالة الأملاح كلياً "Fractional Elctro de – ionization Unit" على استخدام الكهرباء لفصل الأيونات وإمرارها على أغشية راتنجية "Resin Membrane"، وبالتالي يحدث فصل للأملاح، وإنتاج مياه منزوعة الأملاح كلياً بكفاءة تصل إلى حوالي 92%. تتكون الوحدة من خطين "إنتاجية الخط الواحد 105 م³/ساعة"، ويتم تخزين

هذه المياه في صحاريج مصنعة من الستانلس ستيل، ويتم تدفيع هذه المياه إلى المصانع بواسطة ثلاث مضخات، بالإضافة إلى مضخة احتياطية. يبين الشكل (96) وحدة إزالة الأملاح كلياً. شكل (94): أبراج إزالة الغازات



المصدر: (104)

شكل (95): خطوط المياه منزوعة الأملاح جزئياً



المصدر: (104)

الشكل (96): وحدة إزالة الأملاح كلياً



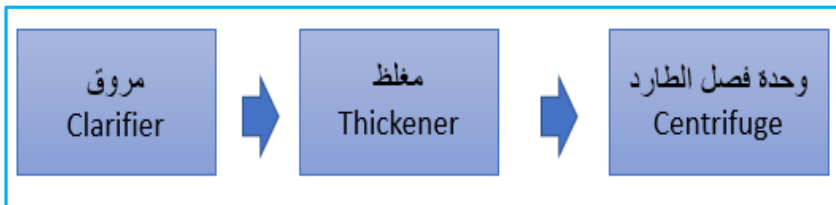
المصدر: (104)

2.1.3. وحدة إزالة الحمأة بالمجمع

الغرض من هذه الوحدة هو إزالة الحمأة من المياه الناتجة من عمليات الغسيل العكسي، ومياه الصرف الناتجة من عمليات المعالجة، وذلك عن طريق حقن بعض المواد الكيماوية بهدف ترسيب الرواسب والملوثات، وتجميعها، والتخلص منها، وتتكون الوحدة كما يبين **الشكل (97)** من:

- مروق
- مغلظ
- وحدة فصل الطرد المركزي

الشكل (97): مخطط مكونات وحدة إزالة الحمأة



المصدر: (104)

1.2.1.3. المروق

يتم فيه عمليات تزويق المياه عن طريق حقن بعض المواد الكيماوية بهدف تجميع الحمأة، وعند وصول نسبتها إلى 5% يتم تدفعها عن طريق مضخات خاصة إلى المغلظ. **الشكل (98)** المروق المستخدم في وحدة إزالة الحمأة.

الشكل (98): المروق المستخدم في وحدة إزالة الحمأة



المصدر: (104)

2.2.1.3. المغلظ

وهو الذي يتم فيه رفع تركيز الحمأة في المياه إلى حوالي 25%. **الشكل (99)** المغلظ الملحق بوحدة إزالة الحمأة.

الشكل (99): المفظ الملحق بوحدة إزالة الحمأة



المصدر: (104)

3.2.1.3. الطارد المركزي

يتم في وحدة الطارد المركزي عملية فصل المياه عن الحمأة عن طريق القوى الطاردة المركزية، وإرجاع المياه مرة أخرى إلى المروق للتخلص من الحمأة المركزة بمنطقة المخلفات في الشركة. يبين **الشكل (100)** الطارد المركزي الملحق في وحدة إزالة الحمأة. **الشكل (100):** الطارد المركزي الملحق في وحدة إزالة الحمأة



المصدر: (104)

3.1.3 وحدة التدوير الكامل للمياه بالمجمع

يعد الهدف الأساسي من إنشاء وحدة التدوير الكامل للمياه "ZLD" هو:

1. الحفاظ على النظام البيئي عن طريق خفض نسب تصريف مياه صرف تحتوي على تركيزات مرتفعة من الأملاح.
 2. إعادة استخدام مياه الصرف مره أخرى بعد معالجتها، مما يعمل على تقليل الكلفة اللازمة للحصول على مياه نقية في العمليات الصناعية.
 3. تحقيق مبدأ الاكتفاء الذاتي من المياه.
 4. تقليل التكلفة التشغيلية السنوية لوحدة المرافق بالمجمع.
- تعتمد فكرة إنشاء الوحدة على إعادة تدوير مياه الصرف الصناعي تدويراً كاملاً، وعدم إنتاج أي مخلفات سائلة خارج المجمع، حيث يتم نزع الأملاح من المياه في وحدة التبخير، والتي تمر خلالها المياه عالية الأملاح خلال مبادلات حرارية "Heat exchangers" لرفع درجة الحرارة عن طريق خاصية التبادل الحراري، ثم تمر على معدات نزع الغازات "Deaerators" لنزع الغازات الذائبة في المياه، والتي تقلل من كفاءة عمليات التبادل الحراري. ثم بعد ذلك تمر إلى المبخر الرئيسي "Falling Film Evaporator"، يبين الشكل (101) المبخر الرئيسي بوحدة التبخير.

شكل (101): المبخر الرئيسي بوحدة التبخير



المصدر: <https://www.indiamart.com/proddetail/falling-film-evaporators-8189219333.html>

ثم تليها مرحلة **البلورة**، وتكون فيها المياه المتبقية من عملية التبخير ذات تركيزات مرتفعة من الأملاح، حيث يتم تدفيعها إلى المبلور "Crystallizer" بعد مرورها على مبادل حراري لرفع درجة حرارتها. هذا ويتم خفض الضغط في المبلور حيث تتبخر المياه عند درجات حرارة أقل من درجة الغليان العادية للمياه، وينتج عن ذلك استخلاص أكبر كميات ممكنة من المياه منزوعة الأملاح كلياً، والوصول إلى أعلى تركيز من الأملاح، والتي يتم معالجتها في وحدة **التجفيف**. يتم خلال مرحلة التجفيف، ضغط أو عصر الأملاح المركزة لاستخلاص المزيد من المياه، والتي يتم إعادتها إلى مرحلة **البلورة** لإنتاج المزيد من المياه منزوعة الأملاح، والوصول إلى كتلة صلبة من الأملاح، كما يبين **الشكل (102)**، والتي يمكن استخدامها في العديد من الصناعات الأخرى.

الشكل (102): تجفيف الأملاح، وتركيزها على هيئة بلورات



المصدر: (104)

تم تصميم وحدة التجفيف لتنتج 26 م³/ساعة من المياه الصناعية عالية الأملاح، ولتنتج بعد ذلك 34 م³/ساعة من المياه النقية منزوعة الأملاح كلياً، ويعزي وجود الزيادة في كمية المياه المنتجة إلى استخدام البخار في العملية الإنتاجية والذي يتكثف مع المياه في عملية التكثيف، وهو ما يعود بالوفر وتقليل التكلفة التشغيلية السنوية لوحدة المرافق. يبين **الجدول (22)** خصائص مياه الصرف الصناعي قبل عمليات المعالجة، وخصائصها بعد المعالجة.

جدول (22): خصائص مياه الصرف الصناعي قبل عمليات المعالجة وخصائص المياه بعد المعالجة بنظام التدوير الكامل للمياه

الخاصية	مواصفات المياه العادمة	مواصفات المياه المعالجة
رقم الأس الهيدروجيني	9-5	8.5-6
نسبة الزيوت والشحوم (ملغرام/ليتر)	10.000 > 300	10 >
المواد الصلبة العالقة (ملغرام/ليتر)	1000-100	20 >
المواد الصلبة الذائبة (ملغرام/ليتر)	5000-800	1500 >
القساوة " العسر " الكلية (ملغرام/ليتر CaCO_3)	1000-50	-
نسبة الأمونيا (ملغرام/ليتر)	50-5	5 >
نسبة الكبريتيد (ملغرام/ليتر)	50-5	0.5 >
نسبة الفينول (ملغرام/ليتر)	50-5	0.5 >
نسبة السيليكا (ملغرام/ليتر)	50-5	-
طلب الأكسجين الكيميائي الحيوي " BOD_5 " (ملغرام/ليتر)	600-250	30-15 >
طلب الأكسجين الكيميائي "COD" (ملغرام/ليتر)	1500-500	250-100 >

المصدر: (104)

4.1.3 مفهوم التدوير الكامل لمياه الصرف الصناعي والفوائد الاقتصادية

قدرت تكلفة معدات معالجة المياه بالطرق التقليدية في مجمع المرافق والتسهيلات بنحو 12.340 مليون دولار، وقدرت كميات المياه اللازمة لتغذية المجمع بنحو 2660 م³/ساعة،

وهو ما يساوي 21 مليون م³/سنة من المياه، بلغت قيمتها حوالي 73.8 مليون جنية مصري "على أساس سعر م³ من المياه يقدر بنحو 3.5 جنية مصري"، وهو ما يعادل حوالي 9.43 مليون دولار "على أساس سعر صرف الدولار 7.83 جم/ دولار - وقت إعداد الدراسة".

بينما قدرت تكلفة وحدات المعالجة الخاصة بتطبيق نظام التدوير الكامل للمياه "ZLD"، وتشمل وحدات المعالجة بالأغشية، والتبادل الأيوني، وأجهزة التبخير بنحو 24.5 مليون دولار أمريكي، وانخفضت معها كمية المياه التي يتم استقبالها من خارج المجمع واللازمة لتغذية مجمع المرافق والتسهيلات لتصل إلى نحو 793 م³/ساعة، وهو ما يساوي 6.3 مليون م³/سنة، تبلغ تكلفتها بنحو 2.8 مليون دولار سنوياً. وهو ما يعني وجود وفر في تكلفة المياه يقدر بنحو 6.63 مليون دولار سنوياً. وعلى هذا فإن الزيادة في قيمة معدات تطبيق نظام التدوير الكامل للمياه والتي تبلغ نحو 12.61 مليون دولار، يمكن استردادها خلال فترة لا تزيد عن 22 شهر نتيجة الوفر في تكلفة استهلاكات المياه. يبين الشكل (103) منظومة إعادة التدوير الكامل للمياه في مجمع إنتاج الأوليفينات والبولي أوليفينات.

الشكل (103): منظومة إعادة التدوير الكامل للمياه بالمجمع



المصدر: (104)

2.3. دراسة حالة إحدى شركات إنتاج الأسمدة

تعتبر وحدة التدوير الكامل للمياه "ZLD" من الوحدات الهامة والتي تحسن من دوره المياه، واستخداماتها، ومراعاة الاحتياطات البيئية التي تحد من صرف المياه على الأنهار أو البحار، كما يمكن تطبيقها بطريقة تتناسب مع طبيعة العملية الصناعية، وبفلسفة تحقق مردود اقتصادي بجانب المردود البيئي، تعتمد فلسفة المعالجة في هذا المصنع على مايلي:

- فصل مصادر المواد التي تتسبب في ارتفاع نسبة النيتروجين الكلى (الملوث الرئيسي) بمياه الصرف وهي اليوريا والأمونيا.
- استرجاع المياه النقية التي لا تحتاج إلى معالجة، وتوجه إلى مياه الصرف، من خلال تجميعها، وتحويلها على أبراج التبريد.
- معالجة مياه تغذية المصنع من خلال وحدات التناضح العكسي لتحسين مواصفاتها، وخفض نسب الأملاح بها، وبالتالي خفض حمل الأملاح على أبراج التبريد، وعلى وحدة نزع الأملاح، ومن ثم خفض كميات الصرف الصناعي النهائية (98).
- تحديد مصادر الصرف الرئيسية المستمرة وتوجيهها مباشرة إلى وحدات معالجة الصرف الصناعي دون الاعتماد على تجميعها من خلال بيارة الصرف الرئيسية بالمصانع، والتي قد يرد إليها مصادر صرف مفاجئ في حالات التوقفات الطارئة بالمصانع، أو ملوثات نادرة مثل الزيوت أو الشحوم، أو الكيماويات التي تستخدم بالمصانع، والتي قد تصل إلى مياه الصرف بطريق الخطأ، أو نتيجة مشاكل مفاجئة، أو من صرف شبكة الأمطار بالمصانع، والتي تنتج عنها جميعا تغيرات مفاجئة وغير مرغوب فيها بمياه الصرف التي تغذى وحدات المعالجة بالأغشية مثل وحدة الفلترة الفائقة "UF"، أو وحدة التناضح العكسي "RO"، وهي وحدات شديدة الحساسية تتأثر بالتغيرات المفاجئة في المواصفات، وللحفاظ على استقرارها وتحقيق الضمانات

- التعاقدية بدقة يفضل التعامل مع مصادر الصرف من منبعها، وبمواصفات ، وكميات محددة ومعروفة حتى يمكن تحديد أسلوب المعالجة المناسب.
- تجميع مياه الغسيل العكسي للفلاتر الرملية، والكربونية بالمصانع وداخل وحدات وحدة التدوير الكامل للمياه "ZLD"، وتحويلها إلى المروقات لفصل المياه النقية من أعلى، وفصل الحمأة من أسفل وتوجيهها إلى وحدة الطرد المركزي لفصلها.
 - تم الاستفادة من جميع وحدات المعالجة المتواجدة بالمصنع كجزء من وحدات المشروع بعد تعديل طبيعة عملها والذي أدى إلى خفض التكلفة الاستثمارية بنسبة 25% (98).

1.2.3 مكونات وحدة التدوير الكامل للمياه

1. وحده التناضح العكسي خاصة بمياه تغذية المصانع المعالجة أولياً "FEED RO".
2. وحده تناضح عكسي لمياه الصرف الصناعي "WASTE RO".
3. وحده تناضح عكسي خاصة بمعالجة المياه شديدة الملوحة الناتجة عن وحدات "WASTE RO"، وتسمى بوحدات "BRINE RO".
4. نظام مشترك يخدم الوحدات.

1.1.2.3 وحده تناضح عكسي خاصه بمياه تغذية المصانع المعالجة أولياً

تقدر كميات المياه الداخلة إلى وحدات التناضح العكسي الخاصة بمياه تغذية المصانع "FEED RO" بنحو 266 م³/ساعة، وبنسبة استرجاع 90 %، لتنتج مياه محلاة تحتوي على نسبة ملوحة 10 ج.ف.م. وتقدر بنحو 240 م³/ساعة. توزع كميات المياه المحلاة المنتجة على وحدة نزع الأملاح بكميات تبلغ نحو 90 م³/ساعة، وتغذية أبراج التبريد بكميات من المياه تبلغ 150 م³/ساعة، موزعة كالتالي 60 م³/ساعة إلى برج تبريد مصنع اليوريا، بالإضافة إلى 90 م³/ساعة إلى برج تبريد مصنع الأمونيا (98).

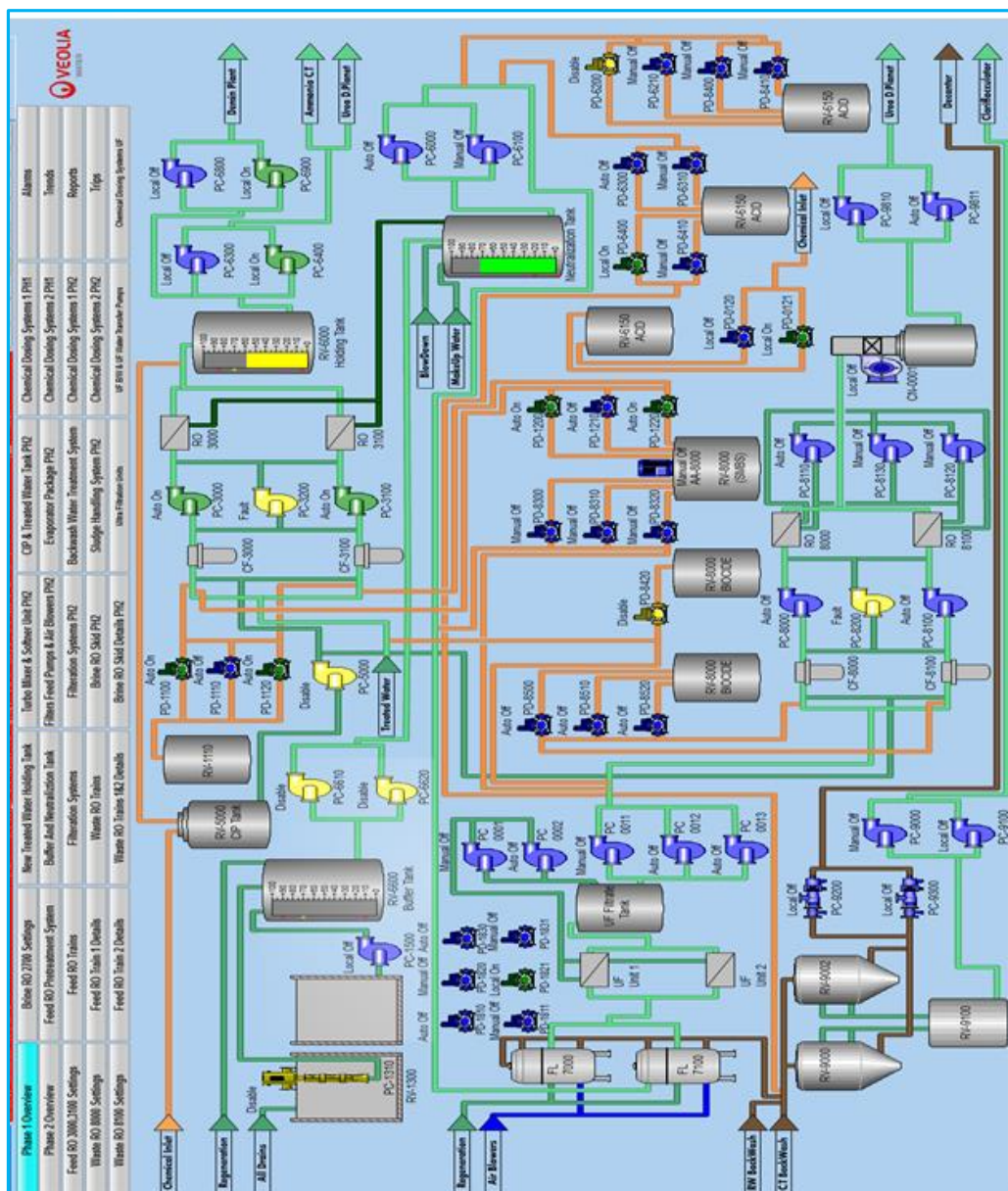
يتم تجميع المياه المالحة الناتجة عن المعالجة من هذه الوحدة، مع مياه الصرف الصناعي المستمر الناتجة من المصنع في صهريج التعادل المتواجد بوحدة نزع الأملاح، وتعد هذه المياه هي مياه التغذية لوحدة التناضح العكسي لمياه الصرف "WASTE RO" (98).

2.1.2.3. وحدة التناضح العكسي لمعالجة مياه الصرف الصناعي

مياه الصرف الصناعي الناتجة من وحدات المصنع، وتشمل مياه التنشيط الناتجة من وحدة نزع الأملاح "الراتنجات المستخدمة في وحدة نزع الأملاح يحدث تشبع لسطحها بالأملاح المنزوعة، مما يؤدي إلى زيادة الأملاح بالوحدة، وفي هذه الحالة يجب تنشيط الوحدة بإضافة الصودا الكاوية، والحامض لإزالة الأملاح من على سطح الراتنجات المستخدمة، وإعادة تأهيله للتشغيل، لذا فإن مياه التنشيط الناتجة تكون مياه مرتفعة الأملاح"، ومياه تفوير أبراج التبريد، وناتج معالجة وحدة التناضح العكسي الأولية "FEED RO"، يتم تجميعها في صهريج التعادل. تعد هذه المياه بمثابة مياه التغذية لوحدة التناضح العكسي لمعالجة مياه الصرف الصناعي "WASTE RO".

تمر هذه المياه والتي تم تجميعها في صهاريج التعادل على وحدتين للترشيح، وهما وحدة الفلاتر الرملية، الأنتراسيت، ووحدة الترشيح الفائق "Ultrafiltration"، بالإضافة إلى وحدتين للتناضح العكسي "WASTE RO"، سعة 50 م³/ساعة لكل وحدة، وبنسبة استرجاع 90 %، لنتج كميات من المياه المحلاة تقدر بنحو 90 م³/ساعة، بنسبة ملوحة 15 ج.ف.م، ثم تنقل المياه المحلاة الناتجة إلى وحدة نزع غاز ثاني أكسيد الكربون، وتستخدم المياه الناتجة في تغذية أبراج تبريد مصنع الأمونيا. يبين الشكل (104) مخطط لوحة التحكم الإلكتروني في وحدة إعادة التدوير الكامل "مرحلة أولى" (98).

الشكل (104): مخطط لوحة التحكم الإلكتروني في وحدة إعادة التدوير الكامل "مرحلة أولى"



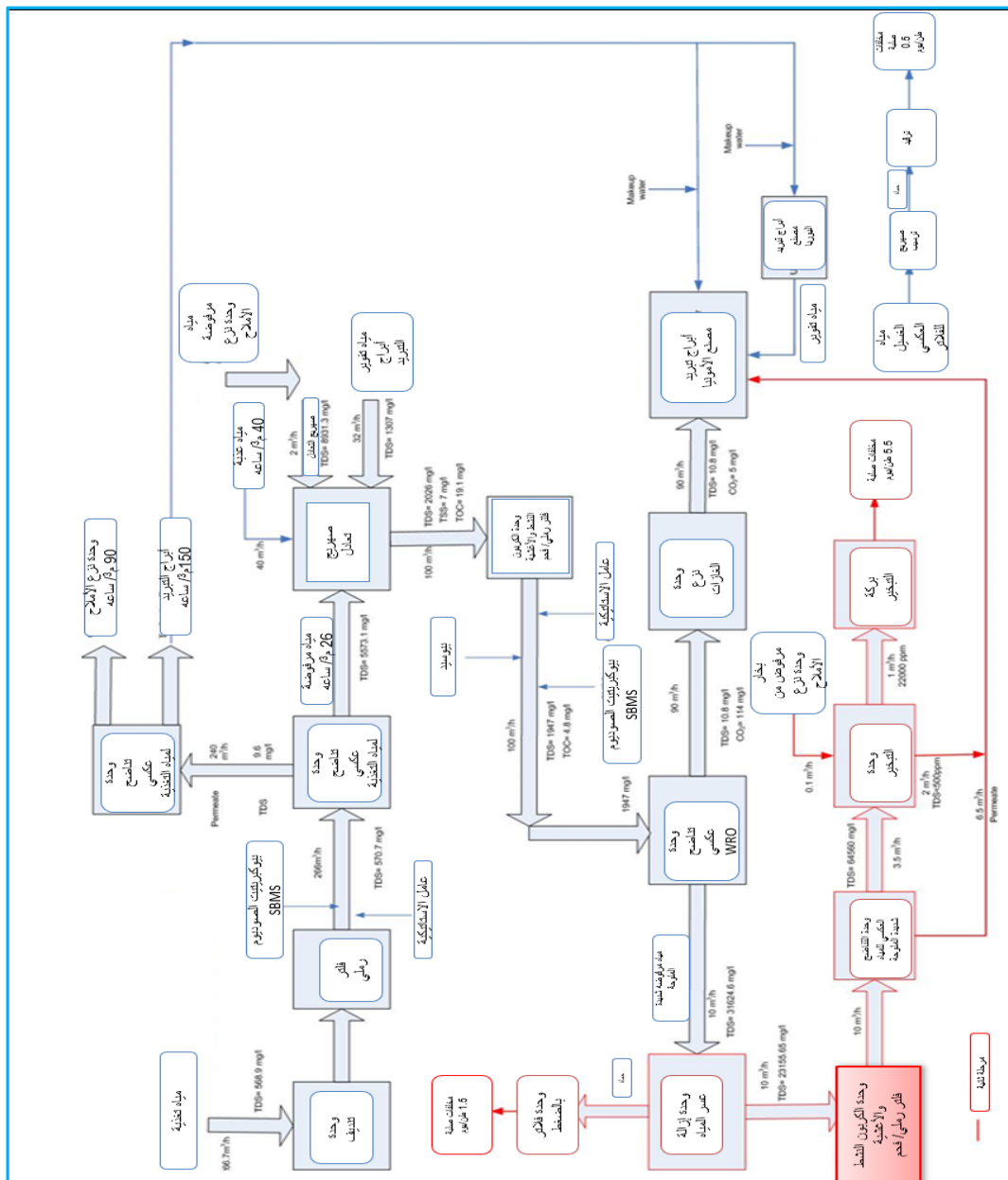
المصدر : (98)

3.1.2.3. وحدة التناضح العكسي لمعالجة المياه شديدة الملوحة

تمثل هذه الوحدة المرحلة الثانية من مشروع التدوير الكامل للمياه، حيث يواجه ناتج المعالجة من وحدة التناضح العكسي لمياه الصرف الصناعي "WASTE RO"، والذي يقدر بحوالي 10 م³/ساعة لتغذية وحدة التناضح العكسي لمعالجة المياه شديدة الملوحة، بمعدل استرجاع 70 %، لتنتج نحو 7 م³/ساعة من المياه المحلاة، بنسبة ملوحة أقل من 300 ج.ف.م، وتوجه هذه المياه لتغذية أبراج التبريد الخاصة بمصنع الأمونيا.

يحول ناتج المعالجة من وحدة معالجة المياه عالية الملوحة إلى وحدة المبخر والتي تقوم بتحلية 3 م³/ساعة، لتنتج 2 م³/ساعة، توجه لتغذية أبراج التبريد في مصنع الأمونيا، ثم يوجه المتبقي من المياه وتقدر ب 1 م³ إلى بركة التبخير. يبين الشكل (105) مخطط مكونات مشروع إعادة التدوير الكامل للمياه بالمصنع في مرحلتيه الأولى والثانية. ويبين الجدول (23) تكاليف التشغيل لوحدة المرافق بالمصنع قبل وبعد تطبيق نظام تدوير المياه الكامل في مرحلتيه الأولى والثانية، والتي يتبين منها ارتفاع تكاليف التشغيل السنوية والتي بلغت نحو 41 مليون جنية مصري، قبل تنفيذ المرحلة الأولى من مشروع التدوير الكامل للمياه، ذلك نظراً لارتفاع تكلفة المياه العذبة المستخدمة بوحدة المرافق، فضلاً عن ارتفاع الكيماويات المستخدمة في وحدات معالجة المياه. مع بدء تنفيذ المرحلة الأولى من مشروع التدوير الكامل للمياه، انخفضت تكلفة المياه اللازمة لوحدة المرافق بنسبة 50 %، حيث بلغت نحو مليون جنية شهرياً بدلاً من 2 مليون جنية، كما انخفضت تكاليف الكيماويات اللازمة للمعالجة، مما أثر إيجاباً على خفض تكلفة التشغيل السنوية بنسبة حوالي 40 %، لتصل إلى نحو 24.5 مليون جنية. ومن المتوقع خفض نسبة تكاليف التشغيل السنوية بنسبة 86% من بدء تشغيل المرحلة الثانية من مشروع التدوير الكامل لمياه الصرف الصناعي، لتصل إلى نحو 5.7 مليون جنية فقط (98).

الشكل (105): مخطط مكونات مشروع إعادة التدوير الكامل للمياه بالمصنع في مرحلتيه الأولى والثانية



المصدر: (98)

جدول (23): تكاليف التشغيل لوحدة المرافق بالمصنع قبل وبعد تطبيق نظام تدوير المياه الكامل في مرحلتيه الأولى والثانية.

البنء	قبل تطبيق ZLD	مرحلة اولى ZLD	مرحلة ثانية ZLD
تكلفة المياه العذبة (ج.م) / شهر	2000000	995000	-25000
تكلفة الكهرباء (ج.م) / شهر	680000	700000	25000
تكلفة كيماويات ما قبل المعالجة (ج.م) / شهر	45000	-----	-----
تكلفة كيماويات نظام مياه التبريد (ج.م) / شهر	300000	45000	-----
تكلفة كيماويات وحدة المياه منزوعة الأملاح (ج.م) / شهر	300000	62500	-----
تكاليف التخلص من الناتجة "Sludge" (ج.م) / شهر	60000	35000	200000
تكاليف الكيماويات للمرحلة الأولى من ZLD (ج.م) / شهر	-----	55000	-----
تكاليف الكيماويات للمرحلة الثانية من ZLD (ج.م) / شهر	-----	-----	225000
تكاليف صيانة وقطع غيار (ج.م) / شهر	-----	150000	50000
إجمالي التكلفة السنوية (ج.م)	40620000	24510000	5700000

المصدر: (98)

الخلاصة والاستنتاجات

- أسهمت السياسات الجديدة واستراتيجيات الحكومات المتبعة وحملات التوعية العامة المجتمعية في قبول مفهوم إعادة تدوير مياه الصرف الصناعي في الموقع، وإعادة استخدامها، مما ساهم في إيجاد حلول نقص المياه اللازمة للصناعة، بالإضافة إلى تطبيق الاعتبارات البيئية المتشددة، للحفاظ على البيئة.
- أصبح مفهوم، معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي، والصناعي أكثر انتشاراً في الوقت الراهن.
- يتوقف نجاح معالجة وإعادة استخدام المياه على مجموعة من المعايير والضوابط البيئية التي ترتبط بطبيعة هذه المياه والهدف النهائي من معالجتها وإعادة استخدامها، والذي يجب أن يجرى في إطار يكفل حماية البيئة، والأفراد مع الأخذ في الاعتبار الاعتبارات الاقتصادية، وضرورة متابعة الآثار البيئية لإعادة استخدام هذه المياه على مكونات المنظومة البيئية؛ وذلك من خلال وضع برامج متكاملة للرصد البيئي للملوثات وآثارها على البيئة المحيطة.
- اتجهت معظم دول العالم إلى التخطيط، والإدارة السليمة المتكاملة لإعادة استعمال المياه العادمة بعد معالجتها بكفاءة وبدرجة كافية تحول دون الضرر من إعادة استعمالها، وتخلصت من الأسلوب القديم الذي كان يتبع في العصور السابقة بالتخلص منها بصرفها على المسطحات المائية.
- تتطلب كل صناعة جودة "نوعية محددة" من المياه تختلف من صناعة لأخرى، فمن الضروري معرفة متطلبات الجودة للمياه الصناعية من حيث نوعية، وكمية الشوائب الموجودة بها، وآثارها على الاستخدام الصناعي، حيث تختلف الحدود المسموح بها من هذه

الشوائب حسب الاستخدامات، فضلاً عن أن جودة المياه تتأثر بخواصها، ونسب وكميات الشوائب المتواجدة بها.

- تعد صناعة البتروكيماويات صناعة معقدة، ومتكاملة حيث تشمل العديد من العمليات الصناعية، والمنتجات، ويستخدم فيها أنواع مختلفة من المواد الأولية (اللحائم)، والعوامل الحفازة، والإضافات، والكيماويات، وتتم هذه العمليات في بيئة شديدة الخطورة.
- من الممكن أن تتسبب صناعة البتروكيماويات في حدوث تلوث بيئي نتيجة هدر، وتصريف مياه الصرف الصناعي المحملة بالعديد من الملوثات الخطرة الناتجة عن تشغيل الوحدات الإنتاجية المختلفة، في حال عدم معالجتها وفق القوانين البيئية المنظمة.
- يتطلب من كل منشأة صناعية إنشاء وحدات، أو محطات لمعالجة مياه الصرف الصناعي وذلك بموجب القوانين والتشريعات البيئية.
- على كل مصنع إنتاج اختيار تصميمات، وتقنيات المعالجة طبقاً لمحددات تتغير بتغير المنتج، ومواصفات مياه الهدر وكمياتها، والغرض من إعادة استخدامها.
- تستهلك مجمعات البتروكيماويات كميات ضخمة من المياه، وأكثر هذه المجمعات يملك موارده المائية الخاصة، سواءً من مصادر المياه السطحية، أو الجوفية، أو من كليهما. ويستخدم بعضها الآخر مياه الشرب البلدية، جزئياً أو كلياً.
- تنشئ مصانع البتروكيماويات وحدات خاصة بها من المرافق لتأمين احتياجاتها من الطاقة والبخار، أو تأمينها من مصادر خارجية، وتقوم عادة بتوليد ما تحتاجه من البخار بضغط معتدلة، حيث تستخدم مصانع البتروكيماويات كميات ضخمة من البخار في وحداتها الإنتاجية المختلفة.
- تصنف المياه المستخدمة في صناعة البتروكيماويات طبقاً لاستخداماتها النهائية، كمياه تغذية، أو تبريد، أو تعويض "Make Up"، أو مياه فائقة النقاوة لتغذية المراجل وإنتاج البخار

المستخدم في عمليات التسخين، والتبخير، والتجفيف، بالإضافة إلى استخدام المياه للإطفاء، والخدمات، والشرب، وغيرها من الاستخدامات الأخرى.

• تزايد المعايير البيئية التي تنفذها الشركات، والتي تنص على منع تصريف ملوثات الأملاح، الملوثات السامة، النترات، والنترت،...الخ، أدى إلى اختيار العديد من التقنيات الحديثة لتلبية هذه المتطلبات.

• أصبحت تقنية التدوير الكامل لمياه الصرف الصناعي، والذي يعرف أيضاً بالتصريف السائل الصفري "ZLD" أكثر انتشاراً في جميع أنحاء العالم.

• يمكن أن تساعد تقنية "ZLD" الشركات على التعامل مع العديد من التحديات مثل ارتفاع تكاليف الحصول على المياه اللازمة، وندرتها في كثير من الأحوال. كما تزايد الاهتمام بتقنيات التصريف الصفري للسائل نظراً لزيادة الوعي البيئي والمسؤولية المجتمعية نحو القضايا البيئية.

• قد تبدو التكلفة الاستثمارية والتشغيلية لتقنيات التصريف الصفري للسائل مرتفعة نظراً للاستهلاكات الضخمة من الطاقة (حيث تستهلك حوالي 10-20 كيلوواط ساعة/م³، مقابل 2-3 كيلوواط ساعة/ م³ في تقنيات تحلية المياه)، إلا أنها قد تكون حلاً اقتصادياً مقبولاً، وخاصة عندما يكون البديل نقل المياه العادمة لمسافات طويلة لإجراء عمليات معالجتها.

• تعد معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصناعي استراتيجية تدخل في نطاق تطوير موارد مياه غير تقليدية.

• تعد سياسة واستراتيجيات التدوير الكامل للمياه استثماراً بيئياً مربحاً.

• إعادة استخدام المياه المعالجة في الصناعة يسهم بشكل كبير في خفض تكلفة إنتاج المياه اللازمة لوحدة المرافق بالمجمعات الصناعية.

• الاكتفاء الذاتي من المياه عن طريق تطبيق مفهوم إعادة التدوير الكامل للمياه من الموقع.

- تخفيض الضغط على الموارد المائية.
- استخدام المياه بشكل أكثر فعالية وكفاءة
- إنتاج المياه بأعلى جودة وتقليل النفقات التشغيلية في الوقت نفسه
- تخفيض النفقات الحكومية على إدارة المياه وتحسين الأسواق الجديدة

المراجع

المراجع العربية

- معالجة مياه الصرف الصناعي، محمد السيد خليل، 2007
- أحمد السروي- معالجة مياه الصرف الصناعي- دار الكتب العلمية.
- معالجة المياه (Tarek Kakhia. All rights reserved. <http://tarek.kakhia.org>)
- المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي في محطات الصرف الصحي، د. عبد الرازق محمد سعيد التركماني، 2009.
- مقارنة تأثير أسلوب التهوية المستمرة والتهوية المتقطعة على كفاءة أنظمة الحماية المنشطة ذات التهوية المطولة والجريان المستمر، د. قصي كمال الدين الأحمد، جامعة الموصل.
- برنامج إدارة مياه الشرب والصرف الصحي- دورة مراجعة تصميم محطات تنقية المياه، الجمعية الألمانية للتعاون الدولي، أكتوبر 2008.
- معالجة مياه الصرف الصحي باستخدام تقنية الأغشية لتحقيق استدامة إعادة استعمال المياه المعالجة، د. عبد الرزاق محمد سعيد التركماني.
- تشغيل واستثمار محطات معالجة الصرف الصحي، جامعة حلب- كلية الهندسة التقنية- قسم تقانات الهندسة البيئية- د. فاطمة جعارة.
- البيئة والمجتمع د. أيمن سليمان مزهرة، د. علي فالح الشوابكة، 2010.
- استخدام معدات الترشيح (الفلتر) في معالجة مياه الشرب- معهد التدريب المتخصص للصناعات الكيماوية- المملكة الأردنية- م. جمال عبد الله ذيب.
- تحضير الكربون المنشط بواسطة التنشيط الكيميائي بحامض الفسفوريك المركز باستخدام نوى التمر كمادة أولية كمادة أولية، سوزان فرج جبار البدان قسم الكيمياء/كلية العلوم جامعة البصر.
- التخلص من ملوثات المياه بواسطة ظاهرة الامتزاز، جامعة القادسية- كلية العلوم قسم علوم الكيمياء.

- مدخل إلى كيمياء المياه (تلوث-معالجة-تحليل)، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجية، د. نصر الحايك، سوريا، 2017.
 - تحلية المياه باستخدام التناضح العكسي، م. جمال عبد الله الدري، المملكة الأردنية الهاشمية.
 - الفرز الغشائي الكهربائي، د. فرج عبد السلام عبد العليم.
 - محطات معالجة الفضلات
- <http://albadr.org/www/pdf/library/mahtat-moalget-alfadlat.pdf>.
- إرشادات في تصميم وتشغيل وصيانة محطات معالجة المياه العادمة، منظمة الصحة العالمية، المكتب الإقليمي لشرق المتوسط، المركز الإقليمي لأنشطة صحة البيئة، عمان – الأردن، 2004.
 - تقرير تقديمي عن مشروعات مجمع الإيثلين ومشتقاته.

المراجع الأجنبية

- Steam Cracking: Kinetics and Feed Characterisation, Joao Vilhena Moreira, Instituto Superior Tecnico, Lisbon, Portugal, 2015.
- Naphtha and Gas Cracking for Production of Olefins.
<http://nptel.ac.in/courses/103107082/module7/lecture2/lecture2.pdf>
- Petroleum Refining and Petrochemical Processes Production of Olefins – Steam Cracking of Hydrocarbons.
https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/PRPP_2013_Steam_cracking_Olefins.pdf.
- Olefins Production, Olefins by steam cracking
https://mol.hu/images/pdf/A_MOL_rol/tvkrol/tarsasagunkr%C3%B3l_roviden/egytemi_kapcsolatok/debreceeni_egytem/oktatasi_anyagok/bemutatok/OLEFINS%20PRODUCTION.pdf.
- Development of a Zero Liquid Discharge for Cooling Tower Blowdown in Petrochemical industry, Asian Institute of Technology, Thailand, May 2014.



- Pilot project on availability, use and sustainability of water production of nuclear and fossil energy – Geo-localised inventory of water use in cooling processes, assessment of vulnerability and of water use management measures, End Report, the European Commission Directorate General Environment, 2014.
<http://ec.europa.eu/environment/archives/water/adaptation/pdf/InventoryCoolingWaterUse.pdf>
- Introduction the importance of Water Cooperation, (UN-Water, 2013),
http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/2013_11_water_cooperation_monograph_eng.pdf
- http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/lvo_bref_0203.pdf page 174
- A simple model to help understand water use at power plants, Working Paper, Massachusetts Institute of Technology Energy Initiative.
https://sequestration.mit.edu/pdf/2012_AD_HJH_WorkingPaperWaterUse_at_PowerPlants.pdf
- Small-molecule aggregates inhibit amyloid polymerization. Nat Chem Biol 4(3):197-9, (Feng, 2008).
<https://www.yeastgenome.org/reference/S000125405>
- Technical EIA Guidance Manual for Petrochemical Complexes, The Ministry of Environmental and Forests, India, 2010.
- Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Organic Fine Chemicals, EUROPEAN COMMISSION, water2006
http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/ofc_bref_0806.pdf
- Water Pollution Control, Springer International Publishing, Switzerland 2014

<http://www.springer.com/978-3-319-01233-9>.

- Cooling Water Management, Basic Principles and Technology, ProChemTech International, Inc., Apache Junction, AZ, and Brockway, Pennsylvania

www.prochemtech.com.

- Cooling Tower Efficiency, Guide Property Managers, IMPROVING COOLING TOWER OPERATIONS.
- Learning the Way Water Is Managed, Water Introduction, NILCO Water.
- Industrial Water Handbook, Principle Public Health Laboratory, India, Chemical Publishing Company, 2011.
- Package steam generating systems, amecfw.com
- <https://www.lenntech.com/applications/process/boiler/boiler-feed-water.htm>.
- Characteristic of boiler feedwater-Lenntech.

<https://www.lenntech.ae/applications/process/boiler/characteristics-of-boiler-feed-water.htm>

- Alert Performance chemical Gujarat PVT.Ltd. India.
- Boiler Water- Problems & Solutions, PDH Course M165.
<https://www.pdhonline.com/courses/m165/m165content.pdf>.
- Industrial Water Quality Requirements, N. MANIVASAKAM, Formerly Chief Water Analyst, Principal Public health Laboratory, India, 2005.
- Cooling Towers, Continuing Education and Development, Inc. info@cedengineering.com.
- Technical Reference for Water Conservation in Cooling Towers, 1st Edition, Nov 2017, Singapore's National Water Agency.



- Best Management practice and Guidance Manual for Cooling Towers, Prepared by JEA for the control in of pollutants discharged to the sanitary collection system, August, 2005.
- Water for downstream refining and petrochemical industries.
- Guidelines for Managing Water in Cooling Systems, For Owners, Operators, and Environmental Managers.
- Effluent Treatment Plant (ETP), department of Civil Engineering Indian Institute Technology, Delhi.
- Choosing an Effluent Treatment Plant, M. Akhtaruzzaman, Stockholm Environment Institute.
- <https://aosts.com/types-wastewater-screening/>.
- <http://drycake.com/equipment/screening/MULTIRAKE.php>.
- Industrial Treatment Process,
http://www.rtu.ac.in/RTU/wpcontent/uploads/2015/06/ppt_industrial_treatment.pdf.
- Flow Equalization and Neutralization, Ramesh K. Goel, Joseph R.V. Flora, and J. Paul Chen.
- <http://www.mixing.com/index.php/155-applications-images/321-equalization-tank>.
- A short account on petrochemical industry effluent treatment
- Biological Wastewater Treatment.
- High performance clarifier with flocculation and sludge thickening, FLOCOPAC. 1E282_FLOCOPAC_L.pdf.
- Optimum clarification results in a confined space.

- Improvements in Wastewater Treatment Technology, Wisaam S. Al-Rekabi, He Qiang and Wei Wu Qiang, Faculty of Engineering, Basrah University, Basrah, Iraq, 2007.
- CLARIFIERS, Prepared by Michigan Department of Environmental Quality, Operator Training and Certification Unit.
- Wastewater Treatment Technology, Michigan Environmental 2010 Michigan Environmental Compliance Conference.
- Review on Chemical treatment of Industrial Waste Water, O.P. SAHU; P.K. CHAUDHARI, Department of Chemical Engineering, KIOT, Wollo University¹, Ethiopia.

<http://www.bioline.org.br/pdf?ja13028>.

- Coagulation-Flocculation Treatment of Industrial
- Wastewater Using Tamarind Seed Powder
- Coagulation-Flocculation Treatment of Industrial Wastewater Using Tamarind Seed Powder, International Journal of ChemTech Research, Jun 11, 2016.
- Overview of flotation as a wastewater treatment technique, J. Rubio, M.L. Souza a, R.W. Smith, Metallurgical and Materials Engineering, Mackay School of Mines, University of Nevada-Reno, USA, 2002.
- Flotation: As Primary Treatment of Waste Water
- DAF–dissolved air flotation: Potential applications in the mining and mineral processing industry, Rafael Teixeira Rodrigues, Jorge Rubio, Departamento de Engenharia de Minas, Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, July 2006.
- Future Solution for Water Treatment, Metropolia University of Applied Science, 2017.

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/127505/VOxFlotation_Future_for_Water_Treatment_Hung_Bui.pdf?sequence=1

- Petroleum Refinery, Ethylene and Gas Plant Wastewater Treatment Presentation, Siemens AG 2006.
- Petroleum refining water/wastewater use and management, The global oil and gas industry association for environmental and social issues, PIECA.
- API Separator, The Workhorse of Refinery Wastewater Treatment Systems, https://www.google.com.kw/search?q=API+oil+separatore&rlz=1C1NHLX_enKW697KW697&oq=API+oil+separatore&aqs=chrome..69i57j0l5.7543j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8
- <http://swawater.com.au/what-are-cpi-separators-and-what-is-their-contribution-to-waste-water-treatment/>
- http://www.freyllit.com/fileadmin/_migrated/content_uploads/CPI_Separator.pdf.
- Integration of processes induced air flotation and photo-Fenton for treatment of residual waters contaminated with xylene, Journal of Hazardous Materials, 199–200 (2012) 151–157, a Departamento Engenharia Química, NUPEG, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal 59066-800, RN, Brazil, Syllos S. da Silvaa, Osvaldo Chiavone-Filhoa, Eduardo L. de Barros Netoa, Claudio A.O. Nascimento.
- Overview of flotation as a wastewater treatment technique, Minerals Engineering 15 (2002) 139–155, Departamento de Engenharia de Minas-PPGEM, Laboratorio de Tecnologia Mineral e Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Osvaldo Aranha 99/512, 90035-190, Porto Alegre, RS, Brazil, J. Rubio a, M.L. Souza a , R.W. Smith b.

- Induced gas flotation,
http://en.citizendium.org/wiki/Induced_gas_flotation#cite_note-EPA-1
- Integrated WW treatment and Recycle/ Reuse System, ECHM PPT.
- Study on the Effect of Modified Walnut Shell Filter on Oil Removal from Oilfield, Journal of Environmental & Analytical Toxicology, 1 College of Chemical and Environmental Engineering, Yang Hang, Wang Xiujun, Jing Bo, Guo Shuyal and Yin Xianqing, Yangtze University, Hubei Jingzhou 434023, PR China.
- http://www.walnutshellpowder.com/walnut_shell/product_Walnut_Shell_Filtering.html.
- Crushed Walnut Shells,
<https://walnutshellpowder.wordpress.com/tag/walnut-shell-filter-media/>.
- Waste Neutralization,
<http://www.tectrapro.com/wp-content/uploads/waste.pdf>.
- Flow Equalization and Neutralization, Ramesh K. Goel, Joseph R.V. Flora, and J. Paul Chen.
- Physicochemical treatment of industrial wastewater with the multistage neutralization process, Water Science and Technology, Volume 36, Issues 2–3, 1997, Pages 249-253
- pH Neutralization in Industrial Wastewater, info@southforkinst.com.
- Biological Wastewater Treatment, Water Today 1 August – 2011.
- Industrial waste water treatment, Imperial Collage Press. National University of Singapore.
- Biological Waste water Treatment in Warm Climatic Regions.
[https://www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/9781780402703.p](https://www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/9781780402703.pdf)
[df.](https://www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/9781780402703.pdf)



- <https://www.sswm.info/ar/water-nutrient-cycle/wastewater-treatment/hardwares/semi-centralised-wastewater-treatments/activated-sludge>.
- Introduction to Activated Sludge Study Guide, Second Edition, Wisconsin Department of Natural Resources Bureau of Science Services, Operator Certification Program,
<https://dnr.wi.gov/regulations/opcert/documents/wwsgactsludgeintro.pdf>
- <http://www.thewatertreatments.com/wastewater-sewage-treatment/oxidation-ditch-sewage-treatment/>.
- Cyclic Activated Sludge Technology- recent Operation with A 90.000 PE Plant in Germany, USA.
<http://abwassersachverstaendiger.de/resources/Cyclic+Activated+Sludge+Technology.pdf>
- Industrial Water Pollution Control, Aerobic Secondary Treatment of Wastewater.
<http://ghangrekar.com/wp-content/uploads/2016/02/19-Aerobic-treatment-process.pdf>.
- Environmental Engineering Unit Processes, Activated Sludge Configurations for BOD removal and Nitrification, Marmara University, Istanbul, Turkey.
- Integrated Fixed Film Activated Sludge: Application of an Innovative Technology for High-Rate Wastewater Treatment,
<https://www.freese.com/sites/default/files/219.pdf>.
- <http://archive.sswm.info/category/implementation-tools/wastewater-treatment/hardware/semi-centralised-wastewater-treatments-4>.
- Integrated Fixed Film/ Activated Sludge (IFAS) Technology,

[https://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BRENTW
OOD%202009%20IFAS%20Technology.pdf](https://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BRENTW
OOD%202009%20IFAS%20Technology.pdf).

- Design, Cost & Benefit Analysis of a Membrane Bioreactor, Department of Environmental and Geomatics Engineering, Masoud Zaerpour, 2014.
<https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/94842/5/2014-10-Zaerpour.pdf>
- Moving Bed Biofilm Reactor – A New Perspective in Wastewater Treatment, IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT) e-ISSN: 2319-2402, p- ISSN: 2319-2399. Volume 6, Issue 6 (Nov. - Dec. 2013), PP 15-21 www.iosrjournals.org.
- Global good practices in industrial wastewater treatment and/ disposal / reuse, with special reference to common effluent treatment plants, Central Pollution Control Board, Ministry of Environment & Forests, Govt. of India).
- <http://www.waterprofessionals.com/learning-center/activated-carbon-filters/>
- Zero Liquid Discharge (ZLD), Concept, Evolution and Technology Options, “Zero Liquid Discharge” Workshop, Gandhinagar, January 27 - 28, 2014.
- ZLD Manual, MOPCO
 - Reverse Osmosis Optimization, US department of energy, august 2013,
https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-22682.pdf.
- http://publications.kacst.edu.sa/SystemFiles/Books_Pdf/PDF_636015111938099598.pdf.
- Wastewater treatment and reuse in the oil & petrochemical industry – a case study, Engineering Conferences International, Spring 6-13-2014

Industrial wastewater treatment technologies in petrochemicals

Industry

Wastewater treatment in petrochemicals industry is a complex process, with demanding environmental management challenges as byproducts can be both volatile and toxic.

Petrochemical wastewater often requires a combination of treatment methods to remove oil and other contaminants before discharge. Issues such as groundwater contamination; aromatics; oil, grease and organic matters, and VOC's control have to be addressed in order to comply with environmental regulations.

A typical wastewater system may include neutralization, coagulation/flocculation, floatation/sedimentation/filtration, clarification and biodegradation (e.g., trickling filter, anaerobic treatment, and aerated lagoon, rotating biological contactor and activated sludge). A final polishing step using filtration, ozonation, activated carbon, or chemical treatment may also be required.

This study is divided into three Chapters, including the identification of different types of pollutants in industrial wastewater from various production units in the petrochemical industry, also various production processes, methods, and levels and applied treatment techniques.

The study highlighting some successful models and case studies adopted in the treatment of industrial waste water. In order to draw attention to the environmental and economic benefits of implementing these successful strategies in the petrochemical industry and various petroleum industries.



منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)